TAMARA STANCIU **EMIL AVRAM**

NICUȘOR CHIRIPUCI

CULEGERE DE EXERCIȚII ȘI PROBLEME PENTRU PREGĂTIREA SCAFANDRILOR

- VOLUMUL 1 -

EDITURA CELEBRIS

Constanța 2018

Descrierea CIP a Bibliotecii Naţionale a României
STANCIU, TAMARA
Culegere de exerciţii şi probleme pentru pregătirea scafandrilor / Tamara Stanciu, Emil Avram, Nicuşor Chiripuci. - Constanţa : Celebris, 2018-
2 vol.
ISBN 978-606-8849-57-7
Vol. 1. - 2018. - Conţine bibliografie. - ISBN 978-606-8849-58-4
I. Avram, Emil
II. Chiripuci, Nicuşor

62

Tipărită în România
Constanţa - 2018

Tipar executat de:
S.C. CELEBRIS 2008 SRL
e-mail: office@celebris.ro
comenzi@celebris.ro
Tel.: 0735 798 477

CUPRINS

	CUVÂNT INTRODUCTIV	**5**
1.	**CAPITOLUL 1 MĂRIMI FIZICE ȘI UNITĂȚI DE MĂSURĂ**	**7**
1.1	**Sistemul metric**	**7**
1.2	**Sistemul FPS**	**7**
1.3	**Conversia unităților de măsură din sistemul metric în cel englez**	**8**
1.4	**Presiunea**	**10**
1.5	**Temperatura**	**11**
1.6	**Exprimarea fracțiunilor concentrațiilor de gaze**	**12**
1.7	**Fracțiuni de timp**	**12**
2.	**CAPITOLUL 2 LEGILE FIZICII ÎN ACTIVITATEA DE SCUFUNDARE**	**13**
2.1	**Legea lui Arhimede**	**13**
2.2	**Legile gazelor**	**13**
2.2.1	***Legea general a gazelor***	**13**
2.2.2	***Legea lui Boyle - Mariotte***	**13**
2.2.3	***Legea lui Charles***	**14**
2.2.4	***Legea lui Dalton***	**14**
2.2.5	***Legea lui Amagat***	**14**
2.2.6	***Legea lui Henry***	**14**
2.2.7	***Legea lui Gay - Lussac***	**15**
3.	**CAPITOLUL 3 FLOTABILITATEA**	**17**
3.1	**Considerații teoretice**	**17**
3.2	**Probleme rezolvate**	**19**
3.3	**Probleme propuse**	**23**
4.	**CAPITOLUL 4 PLANIFICAREA SCUFUNDĂRII ȘI A CONSUMULUI DE GAZ RESPIRATOR**	**27**
4.1	**Considerații teoretice**	**27**
4.1.1	***Volumul de gaz liber***	**27**
4.1.2	***Gazul disponibil***	**28**
4.1.3	***Timpul disponibil pentru scafandru***	**29**
4.1.4	***Volumul exact de heliu***	**29**
4.1.5	***Gazul furnizat de compresor***	**30**
4.2	**Probleme rezolvate**	**30**
4.3	**Probleme propuse**	**37**
5	**CAPITOLUL 5 APLICAȚII ALE LEGILOR GAZELOR ÎN ACTIVITATEA DE SCUFUNDARE**	**41**
5.1	**Exemplificări ale aplicării legilor gazelor în scufundare**	**41**
5.2	**Probleme rezolvate**	**45**
5.3	**Probleme propuse**	**49**
6	**CAPITOLUL 6 FABRICAREA AMESTECURILOR DE GAZE RESPIRATORII**	**53**
6.1	**Noțiuni de fabricare a amestecurilor gazoase**	**53**
6.2	**Exemple de fabricare a amestecurilor în baza schemei generale de calcul**	**55**
6.3	**Probleme rezolvate**	**60**

6.4	**Probleme propuse**	**70**
7.	**CAPITOLUL 7 COMPRESIA ȘI DECOMPRESIA INCINTELOR PRESURIZATE**	**73**
7.1	**Considerații teoretice**	**73**
7.1.1	***Presurizarea***	**74**
7.1.2	***Consumul de gaz***	**77**
7.1.3	***Decompresia***	**78**
7.2	**Probleme rezolvate**	**78**
7.3	**Probleme propuse**	**84**
	REFERINȚE BIBLIOGRAFICE	**87**

CUVÂNT INTRODUCTIV

Cursul de Formare, Pregătire şi Antrenare Scafandri este structura din subordinea Centrului de Scafandri (instituţie desemnată prin care Ministerul Apărării Naţionale îşi exercită autoritatea naţională în domeniul formării profesionale a scafandrilor şi a autorizării activităţilor de scufundare) responsabilă cu organizarea şi desfăşurarea cursurilor de calificare/ iniţiere/ perfecţionare/ specializare pentru scafandri, atât pentru personalul din structurile Ministerului Apărării Naționale, cât şi pentru personalul din afara Ministerului Apărării Naționale, precum şi de organizarea activităţilor de evaluare şi atestare a personalului cu atribuţii în organizarea, desfăşurarea şi conducerea activităţilor de scufundare.

Formarea profesională a scafandrilor militari și civili cuprinde o formare inițială ca scafandru/ scafandru greu/ scafandru lucrător subacvatic/ scafandru salvator, urmată de cursuri de perfecţionare/ specializare scafandru de luptă/ scafandru salvator SAR/ scafandru utilizator pentru diferite tipuri de aparate de respirat subacvatice/ atestare diferite tipuri de lucrări subacvatice.

În scopul dezvoltării şi perfecţionării continue a metodelor de pregătire ale cursanților, în anul 2004 a fost elaborat „Manualul de instrucţie al scafandrului” şi reeditat în anul 2010. Lecțiile predate la curs nu sunt completate de un set de exerciții și probleme, pentru fixarea cunoștințelor teoretice, în special de fizica scufundării.

Pentru o înțelegere mai bună a fenomenelor și pentru identificarea în practică a soluțiilor necesare în pregătirea și abordarea scufundărilor autonome sau de mare adâncime, autorii au publicat „Culegere de exerciții și

probleme pentru pregătirea scafandrilor" (volumul 1). În conţinutul ei sunt prezentate câteva noțiuni despre mărimile fizice, unitățile de măsură și legile fizice specifice activității de scufundare. Capitolele introductive sunt urmate de alte 5 capitole, care sunt structurate logic: noțiuni teoretice, probleme rezolvate și probleme propuse, cu soluțiile lor.

În consecință, consider că această lucrare este un instrument eficient, pus la dispoziţia specialiștilor, indiferent dacă sunt cursanţi, instructori sau scafandri cu experienţă.

COMANDANTUL CENTRULUI DE SCAFANDRI

Comandor ing.

Bogdan DUMITRESCU

CAPITOLUL 1

UNITĂȚI DE MĂSURĂ

În mod obişnuit în scufundare se utilizează 2 sisteme de unităţi de măsură:

- Sistemul metric MKS (Metru, Kilogram, Secundă) sau sistemul internaţional SI utilizat de multe dintre companiile continentale. Este uşor de utilizat deoarece toate unităţile sunt bazate pe o scară de 10. Tabelele de decompresie europene sunt în metri.
- Sistemul englez sau FPS (Foot, Pound, Second) utilizat de companiile americane care folosesc tabelele de decompresie ale marinei americane (US Navy).

1.1. Sistemul metric

Presiune	- Pascal (Pa)
Unitate tolerată	- bar (bar)
	- 100 Pa = 1 mb
	- 1000 mb = 1 bar
	- 100.000 Pa = 1 bar
Lungime	- metri (m)
Aria	- metri pătraţi (m^2)
Volum	- litri (l) sau metri cubi (m^3)
	- 1000 litri = 1 m^3
Masă	- kilograme(kg) sau tone (t)
	- 1000 kg = 1 tonă
Căldură sau energie	- Joule (J)
Unitate tolerată	- calorie (cal)
Temperatură	- Grade Celsius (°C) sau Kelvin (°K)
Densitate	- kilogram / litru (kg / l), kilogram / metru cub (kg / m^3)

1.2. Sistemul FPS

Presiune	- pounds / square inch (psi)
	- atmosferă (atm)
	- foot see water (fsw)
	- 14,7 psi = 1 atm
	- 33 fsw exercită o presiune de 1 atm
Lungime	- foot (ft)
Aria	- square foot (ft^2)

Volum	- cubic foot (ft^3)
	- galon (gal)
	- 1 galon Imperial = 1,2 galoane US
	- 1 galon US = 0,83 galoane Imperiale
Masă	- pounds (lb)
	- 2240 lbs = 1 tonă Imperială
	- 2000 lbs = 1 tonă US
Căldură sau energie	- British Thermal Units (Btu) sau termie
	- 100.000 Btu = 1 termie
Temperatură	- Grade Fahrenheit (°F) sau Rankin (°R)
Densitate	- pounds / cubic foot (lb / ft^3)

1.3.Conversia unităților de măsură din sistemul metric în cel englez

TABELUL 1.1 DE CONVERSIE PENTRU UNITĂȚILE DE PRESIUNE BAROMETRICĂ [NOAA, 2005]

	atm	**N/m^2 (Pa)**	**bari**	**mb**	**kg/cm^2**	**g/cm^2 (cmH_2O)**	**mmHg**	**inHg**	**lb/in^2 (psi)**
1 atm	1	101300	1.013	1013	1.033	1033	760	29.92	14.70
1 N/m^2 (Pa)	0.9869 $x10^{-5}$	1	10^{-5}	0.01	1.02 $x10^{-5}$	0.0102	0.0075	0.2953 $x10^{-3}$	0.1451 $x10^{-3}$
1 bar	0.9869	10^5	1	0.001	1.02	1020	750.1	29.53	14.51
1 mbar	0.9869 $x10^{-3}$	100	0.001	1	0.00102	1.02	0.7501	0.02953	0.01451
1 kg/cm^2	0.9681	0.9807 $x10^5$	0.9807	980.7	1	1000	735	28.94	14.22
1 g/cm^2	968.1	98.07	0.9807 $x10^{-3}$	0.9807	0.001	1	0.735	0.02894	0.01422
1 mmHg	1.316 $x10^{-3}$	133.3	1.333 $x10^{-3}$	1.333	0.00136	1.36	1	0.03937	0.01934
1 inHg	0.0334	3386	33.86 $x10^{-3}$	33.86	0.03453	34.53	25.4	1	0.4910
1 lb/in^2 (psi)	0.06804	6895	68.95 $x10^{-3}$	68.95	0.0703	70.3	51.70	2.035	1

TABELUL 1.2 DE CONVERSIE PENTRU UNITĂȚILE DE MASĂ [NOAA, 2005]

SI	Sistem englez	Factor de multiplicare
1 gram	ounce (oz)	0.035
1 kg	ounces (oz)	35.27
1 kg	pounds (lb)	2.205

TABELUL 1.3 DE CONVERSIE PENTRU UNITĂȚILE DE PRESIUNE [NOAA, 2005]

ST/SI	Sistem englez	Factor de multiplicare
1 gf/cm^2	inches of freshwater	0.394
1 kgf/cm^2	pounds / square inch (psi)	14.22
1 kgf/cm^2	foot of freshwater	32.8
1 kgf/cm^2	pounds / square inch	28.96
1 cm Hg	mercury (in. Hg)	0.193
1 cm apă dulce	foot of freshwater (ffw)	0.447
1 cm Hg	foot of seewater (fsw)	0.434
1 cm Hg	inches of Hg	0.394
1 cm apă dulce	inche of freshwater	0.394
1 msw	fsw	3.280829
1 fsw	msw	0,304801

TABELUL 1.4 DE CONVERSIE PENTRU UNITĂȚILE DE LUNGIME [NOAA, 2005]

SI	Sistem englez	Factor de multiplicare
1 cm	inch	0.394
1 m	inches	39.37
1 m	feet	3.28
1 km	mile	0.621

TABELUL 1.5 DE CONVERSIE PENTRU UNITĂȚILE DE SUPRAFAȚĂ [NOAA, 2005]

SI	Sistem englez	Factor de multiplicare
1 cm^2	square inch	0.155
1 m^2	ft^2	10.76
1 km^2	mi^2 (sq miles)	0.386

TABELUL 1.6 DE CONVERSIE PENTRU UNITĂȚILE DE VOLUM [NOAA, 2005]

SI	Sistem englez	Factor de multiplicare
1 cm	cubic inch (in^3)	0.061
1 m^3	cubic feet (ft^3)	35.31
1 litru	cubic inches	61.02
1 litru	cubic foot	0.035
1 litru	fluid ounces (fl oz)	33.81
1 litru	quarts (qt)	1.057

1.4.Presiunea

Presiunea este mărimea de stare reprezentată de forța de apăsare în direcție normală, uniform distribuită pe unitatea de suprafață a corpului.

$$p = \frac{\vec{F}}{\vec{A}} \tag{1.1}$$

În Sistemul Internațional unitatea de măsură este:

- N/m^2 sau Pa (Pascal)

Unitățile de măsură tolerate mai răspândite sunt:

- *atmosfera tehnică* - $\mathbf{1}\frac{\boldsymbol{kgf}}{\boldsymbol{cm^2}} = \frac{\mathbf{9.81}}{\mathbf{10^{-4}}}\boldsymbol{N/m^2}$
- *b (*bar*)*

Presiunea absolută se notează cu ATA și este:

$$p_{ab} = p_{atm} + p_r \tag{1.2}$$

$p_{atm} = 1bar = 101{,}3$ kPa - presiunea atmosferică sau presiunea de referință

p_r $[bar]$ - presiunea relativă, măsurată la aparate

Dacă ne raportăm la presiunea atmosferică, aici:

- $p_r = 0kPa \rightarrow p_{ab} = 0 + p_{atm} = 101.3kPa$
- $p_r > 0$ –suprapresiune
- $p_r < 0$ - depresiune.

$p_{ab} = 101.3kPa$ corespunde presiunii atmosferice normale

Unități de presiune tolerate

- mmHg – presiunea unei coloane de mercur cu $h = 1\ mm$

- msw – presiunea unei coloane de apă de mare cu $h = 1m$.

$$p = \rho g h \tag{1.3}$$

Pentru apa dulce se ia în considerare densitatea apei distilate $\rho = 1000$ kg / m^3

Pentru apa de mare se ia în considerare densitatea apei de mare $\rho = 1030$ kg / m^3

1.5. Temperatura

Temperatura este mărimea care descrie gradul de încălzire al unui corp.

Măsurarea ei se face pe baza atingerii echilibrului termic între termometru și corp. Pentru măsurare s-au conceput metode care folosesc modificarea unor proprietăți fizice ale corpurilor, în funcție de starea lor termică:

- dilatarea lichidelor;
- variația rezistențelor electrice ale conductoarelor;
- efectul termoelectric rezultat prin lipirea a două metale diferite;
- variația intensității de radiație a corpului măsurat.

Fiecare variație de proprietate fizică are asociată o valoare de temperatură din care rezultă scara termometrului.

Scara termodinamică de temperatură are originea la *zero absolut*: T=0K, când nu mai există mișcare moleculară și nu sunt temperaturi negative. Pe scara absolută intervalul dintre punctul de topire al gheții și punctul de fierbere al apei la presiunea atmosferică (101325 Pa), se împarte la 100 și rezultă unitatea de măsură – gradul Kelvin (K).

Pe *scara internațională* temperatura t este măsurată în grade Celsius (°C). Scara Celsius este denumită după numele savantului suedez Anders Celsius care a introdus-o în Sec. XVIII. Este bazată pe punctele de înghețare (0°C) şi fierbere al apei (100°C). Ca interval gradul Kelvin este egal cu gradul Celsius, dar scările de măsurare sunt decalate.

T(K) = t(°C) + 273

Scara Fahrenheit este denumită după numele savantului Daniel Gabriel Fahrenheit. Ea se bazează pe cea mai scăzută temperatură de iarnă înregistrată de el, notată 0°F şi temperatura corpului uman, pe care el a notat-o 100°F. Aceasta s-a dovedit nepractică pentru calibrare. Este definită astăzi şi în funcţie de punctele de înghețare (32°F) şi de fierbere ale apei (212°F). Scara Celsius şi Fahrenheit sunt utilizate pentru măsurarea temperaturii zilnice.

Conversia între cele două scări de temperatură:

°C = 5/9 (°F – 32)

°F = (9/5 °C) + 32

Pentru calculele termice este necesară folosirea ***scării absolute*** de temperatură. Temperatura folosită în calcule este cea masurată pe scara absolută sau scara termodinamică (Kelvin).

Temperatura absolută este temperatura măsurată de la Zero Absolut, în grade Kelvin sau în grade Rankine.

Temperatura absolută (K) = t(°C) + 273

Temperatura absolută (°R) = Temperatura în °F + 460

1.6. Exprimarea fracțiunilor concentrațiilor de gaze

Părţi per milion (ppm) este folosit pentru concentraţii foarte mici de gaze. Ppm este tratat în acelaşi fel ca şi procentajul. Singura diferenţă fiind aceea că ppm sunt părţi per milion, procentele sunt părţi per sută. Calculele pot fi efectuate direct în ppm, sau prin transformarea ppm în procente.

- Pentru a transforma ppm în zecimale, mutaţi virgula înapoi cu 6 poziţii.
- Pentru a transforma ppm în procente, mutaţi virgula înapoi cu 4 poziţii.

Înainte de a începe orice calcul, trebuie să aveţi o idee generală asupra ordinului de mărime al rezultatului. Atenţie la numărul de zecimale pentru că la concentrația de gaze lipsa unei zecimale poate fi semnificativă. Este foarte uşor să tastezi greşit la utilizarea calculatorului. Verificaţi întotdeauna rezultatul.

1.7. Fracțiuni de timp

Dacă aveţi un rezultat în minute, procedaţi astfel:

- împărţiţi valoarea în minute la 60 pentru a obţine numărul de ore;
- valoarea după virgulă se înmulţeşte cu 60 pentru a o converti din nou în minute.

Exemplu
Câte ore și câte minute reprezintă 210 min?

$\frac{210}{60} = 3.5 = 3ore\ și\ (0.5 \cdot 60)min \rightarrow 3ore\ și\ 30min$

0,5ore x60=30min

CAPITOLUL 2

LEGILE FIZICII ÎN ACTIVITATEA DE SCUFUNDARE

2.1. Legea lui Arhimede

Legea lui Arhimede, cunoscută astfel din antichitate, spune că un corp scufundat într-un lichid este împins de jos în sus cu o forță A verticală, egală cu greutatea lichidului dezlocuit:

$$A = \rho V g \tag{2.1}$$

A[N] – forța Arhimede (de ridicare)

$\rho[kg/m^3]$ – densitatea lichidului

g[m/s^2] – accelerația gravitațională

$V[m^3]$ - volumul de apă dezlocuită

Un corp scufundat în apă este supus acţiunii a 2 forţe. Greutatea acestuia G[N], care are tendinţa de a-l scufunda şi forţa de ridicare a apei A[N], care are tendinţa de a-l face să plutească.

$$G = mg \tag{2.2}$$

m[kg] – masa corpului

$g \sim 9{,}8\ m/s^2$ – accelerația gravitațională.

2.2. Legile gazelor

2.2.1. Legea generală a gazelor

În cazul gazelor perfecte ***ecuația de stare*** sau ***Legea generală a gazelor*** este:

$$\frac{pV}{T} = MR = ct \tag{2.3}$$

p – presiunea absolută

V – volumul gazului

R – constanta specifică gazului (R_{aer}=287,13 *J/kgK*)

M – masa molară

2.2.2. Legea lui Boyle - Mariotte

Pentru orice gaz la temperatură constantă, volumul gazului variază invers proporțional cu presiunea.

Pentru transformarea izotermă (T=ct), legea de evoluție a gazelor devine:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 = ct \quad (2.4)$$

2.2.3. Legea lui Charles

Pentru orice gaz la volum constant, presiunea gazului variază direct proporțional cu temperatura absolută.

Pentru transformarea izocoră (V=ct), legea de evoluție a gazelor are forma:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} = ct \quad (2.5)$$

2.2.4. Legea lui Dalton

Gazele respiratorii sunt amestecuri de gaze, care asigură transportul oxigenului în organism, în diverse condiții de presiune.

Presiunea totală, exercitată de un amestec de gaze dintr-un volum, este egală cu suma presiunilor parțiale ale gazelor componente. Presiunea parțială a unui gaz din amestec este presiunea pe care gazul o are dacă este singur în acel volum.

$$p_t = p_{p1} + p_{p2} + \cdots . + p_{pn} \quad (2.6)$$

p_t - presiunea totală

p_{pi} - presiunea parțială a gazului i

$$p_{pi} = r_i \times p_t \quad (2.7)$$

$$r_i = \frac{c\%}{100} \quad (2.8)$$

r_i - participația volumică a gazului

$c\%$ - concentrația gazului i.

2.2.5. Legea lui Amagat

Suma participațiilor volumice ale gazelor componente dintr-un amestec gazos este 1.

$$\sum r_i = 1 \quad (2.9)$$

2.2.6. Legea lui Henry

La temperatură constantă, masa de gaz dizolvată într-un lichid, la saturaţie, variază direct proporţional cu presiunea parţială a gazului aflat în contact cu lichidul. Cantitatea de gaz dizolvat la saturaţie este invers proporțională cu temperatura și este funcție atât de specificul lichidului cât și de cel al gazului dizolvat în el.

x - solubilitatea

V_g – volumul gazului dizolvat

V_l - volumul lichidului în care se dizolvă gazul

$$x = \frac{V_g}{V_l} = \alpha p_p = \frac{1}{k} p_p \tag{2.10}$$

α - coeficientul de solubilitate la temperatura specificată

k –constanta lui Henry

p_p - presiunea parțială a gazului.

Pentru un amestec de gaze, cantitatea de gaz dizolvat este proporţională cu presiunea parţială a fiecărui gaz component.

2.2.7. Legea lui Gay - Lussac

Pentru orice gaz care evoluează la presiune constantă, volumul gazului variază direct proporţional cu temperatura absolută.

Pentru transformarea izobară (p=ct), legea generală a gazelor se scrie:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = ct \tag{2.11}$$

CAPITOLUL 3

FLOTABILITATEA

3.1. Considerații teoretice

Flotabilitatea F este o forță, rezultanta vectorială dintre forța Arhimede A[N] și forța de greutate G[N].

$$\vec{F} = \vec{A} + \vec{G}$$

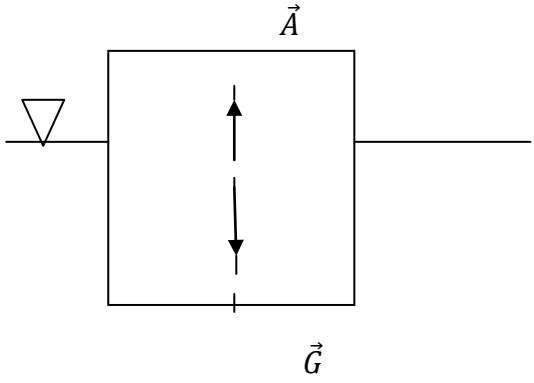

Figura 3.1 Forțele care acționează asupra unui corp scufundat în apă

$\vec{F}$ este o sumă vectorială, de aceea semnul + sau – se alege ținându-se cont de sensul forțelor verticale. $\vec{A}$ *şi* $\vec{G}$ sunt de sensuri opuse, au punctul de aplicare pe aceeași dreaptă verticală, perpendiculară pe planul de plutire și modulele lor se scad. Considerăm că $\vec{A}$ este pozitivă.

Dacă aceste forţe sunt egale, obiectul pluteşte, flotabilitatea este neutră:

$$|\vec{G}|=|\vec{A}| \rightarrow [\vec{F}] = 0 \tag{3.1}$$

Dacă greutatea este mai mare decât forţa de ridicare, acesta se scufundă, flotabilitatea este negativă:

$$|\vec{G}| > |\vec{A}| \rightarrow [\vec{F}] < 0 \tag{3.2}$$

Dacă forţa Arhimede este mai mare decât greutatea, acesta pluteşte la suprafața apei, flotabilitatea este pozitivă:

$$|\vec{G}| < |\vec{A}| \rightarrow |\vec{F}| > 0 \tag{3.3}$$

$$F = A - G \leftrightarrow F = |g|(\rho V - m) \rightarrow \frac{F}{|g|} = \rho V - m_c = m_a - m_c = m_{ap} \tag{3.4}$$

$m_a\,(kg)$ - masa de apă dezlocuită

$m_c\,(kg)$ - masa corpului scufundat

$m_{ap}\,(kg)$ – masa aparentă.

Modulul accelerației gravitaționale este pozitiv $|g| > 0$, semnul lui F este cel al diferenței $\rho V - m_c$.

În concluzie diferența dintre masa de apă dezlocuită și masa corpului scufundat indică, prin semnul ei, flotabilitatea pozitivă sau negativă.

Apa de mare este mai densă decât apa dulce., astfel că obiectele plutesc mai bine în apa de mare.

Densitatea apei de mare este de:

- 1030 *kg /m*^{3} ,
- 10,3 *lbs / galon imperial*,
- 12,*4 lbs / galon US*
- 64,38 *lbs / ft*^{3}.

Densitatea apei dulci este de:

- 1000 *kg / m*^{3},
- 10,0 *lbs / galon imperial*,
- 12,04 *lbs / galon US*
- 62,5 *lbs / ft*^{3}.

Aceste cunoștințe minime de fizică sunt necesare pentru stabilirea flotabilității scafandrului autonom echipat, a turelelor de scufundare și a corpurilor submersibile.

Scafandrul autonom echipat cu costumul de neopren are flotabilitatea pozitivă. Cu ajutorul centurii de lestare se reglează $F \approx 0$, la începutul scufundării. Ulterior flotabilitatea este controlată ușor cu vesta de salvare.

În practică, turelele sunt supuse unor teste de flotabilitate, luând în considerație greutatea totală a scafandrilor și a echipamentului. Pentru a căpăta rutină în verificarea flotabilității, propunem câteva probleme și rezolvarea lor.

3.2. Probleme rezolvate

1. Enunț:

O turelă dezlocuiește 10 m^3 apă de mare sărată și cântărește 9 *t*. Se cunosc:

- densitatea apei de mare $\rho_s = 1030 kg/m^3$
- densitatea apei dulci $\rho_d = 1000 kg/m^3$

Întrebări: Cum este flotabilitatea turelei în mare?

Dar în apă dulce dacă volumul dezlocuit este tot 10 m^3?

Rezolvare

a. în apă de mare

Masa turelei m=9 t=9000 kg

Volumul de apă dezlocuit V=10 m^3

Accelerația gravitațională g=9.8m/s^2

Forța Arhimede $A = \rho_s V g = 1030 \times 10 \times 9.8 = 100940N$

Forța de greutate a turelei $G = m \times g = 9000 \times 9.8 = 88200N$

Flotabilitatea $F = A - G = 100940 - 88.200 = 12740N > 0$ *pozitivă, plutește.*

b. în apă dulce

Forța Arhimede $A = \rho_d V g = 1000 \times 10 \times 9.8 = 98000N$

Flotabilitatea $F = A - G = 98000 - 88200 = 9800N > 0$ *pozitivă, plutește.0*

2. Enunț:

O turelă dezlocuiește 200 ft^3 apă de mare și cântărește 5 *tone imperiale*. Se cunosc:

- densitatea apei de mare $\rho_s = 64{,}38\ lb/ft^3$
- 1tonă imperială = 2240 *lbs*.

Întrebări: Cum este flotabilitatea turelei în mare?

Rezolvare

Masa turelei este $m_t = 5 \times 2240 = 11200lbs$

Masa de apă dezlocuită este $m_a = V \times \rho_s = 200 \times 64.38 = 12876lbs$

$m_a - m_c = 12876 - 11200 = 1676lbs > 0$

Rezultă că flotabilitatea este pozitivă, turela plutește.

3. Enunț

O turelă dezlocuiește 5 m^3 apă de mare şi cântăreşte 5,1 t. Se cunosc:

- densitatea apei de mare $\rho_s = 1030kg/m^3$
- densitatea apei dulci $\rho_d = 1000kg/m^3$

Întrebări: Cum este flotabilitatea turelei în mare?

Dar în apă dulce, pentru același volum de apă dezlocuit?

Rezolvare

a. *Pentru apa de mare*

Masa de apă dezlocuită $m_a = V \times \rho_s = 5 \times 1030 = 5150kg$

Masa turelei este m_t*=5,1*$\times 1000 = 5100kg$

$m_a - m_t = 5150 - 5100 = 50kg > 0$

Rezultă că flotabilitatea este pozitivă, turela plutește.

b. *Pentru apa dulce*

Masa de apă dezlocuită $m_a = V \times \rho_s = 5 \times 1000 = 5000kg$

Masa turelei este m_t*=5,1*$\times 1000 = 5100kg$

$m_a - m_t = 5000 - 5100 = -100kg < 0$

Rezultă că flotabilitatea este negativă, turela se scufundă.

4. Enunț

Un bloc de beton paralelipipedic, de 1m x 2m x 3m, se află pe fundul mării. Se cunosc:

- densitatea apei de mare $\rho_s = 1030kg/m^3$
- densitatea betonului $\rho_b = 2400kg/m^3$
- $1m^3$ de balon (1 parașută subacvatică) cu aer ridică$\sim 1tf$

Întrebări:

a. Ce forţă este necesară pentru a ridica blocul de pe fundul mării? (Ignoraţi orice forţă de aspiraţie)?

b. Câte parașute de $1m^3$ sunt necesare pentru a ridica blocul de beton?

Rezolvare

$a. V_a = V_b = 1 \times 2 \times 3 = 6m^3$

Masa de apă dezlocuită $m_a = V_b \times \rho_s = 6 \times 1030 = 6180kg$

Masa betonului $m_b = V_b \times \rho_b = 6 \times 2400 = 14400kg$

$\lceil F \rceil = \lceil A - G \rceil = \lceil 6180 - 14400 \rceil = 4740kgf = 4{,}74tf$

b. $4{,}74tf < 5tf \rightarrow 5:1 = 5$ *parașute de* $1m^3$

5. Enunț

Un habitat pentru sudură cântăreşte 30 tone în aer. El dezlocuiește 15 m^3 de apă de mare. Se cunoaște:

- densitatea apei de mare $\rho_s = 1030\text{kg/m}^3$

Întrebare: Cât va cântări habitatul în apa de mare?

Rezolvare

Masa de apă dezlocuită este $m_a = V \times \rho_s = 15 \times 1030 = 15450kg$

Masa corpului în aer $m_c = 30t = 30000kg$

Forța de flotabilitate $\vec{F}$ *care acționează asupra corpului scufundat este:*

$$\vec{F} = \vec{A} - \vec{G}$$

Masa corpului scufundat este:

$m_s = \frac{|\vec{F}|}{g} = \left|\frac{A}{g} - \frac{G}{g}\right| = |m_a - m_c| = |15450 - 30000|$*=14550 kg=14,55t*

6. Enunț

O lungime de conductă închisă cântăreşte în aer 10 tone şi dezlocuiește 5m^3 apă de mare. Se cunosc:

- densitatea apei de mare $\rho_s = 1030kg/m^3$
- $1m^3$ de balon (1 parașută subacvatică) cu aer ridică~$1t$

Întrebare: Ce forţă este necesară şi câte paraşute subacvatice sunt necesare pentru a ridica conducta de pe fundul mării? (Ignoraţi orice forţă de aspiraţie).

Rezolvare

Masa de apă dezlocuită este

$m_a = V \times \rho_s = 5 \times 1030 = 5150kg = 5{,}15t$

Masa corpului scufundat este:

$m_s = \frac{|\vec{F}|}{g} = \left|\frac{A}{g} - \frac{G}{g}\right| = |m_a - m_c| = |5{,}15 - 10| = 4{,}85t$

Este necesară o forță $F = 4{,}85tf < 5tf$

Se vor utiliza:

5: 1=5 parașute subacvatice .

7. Enunț:

O turelă dezlocuiește 400 ft^3 apă de mare şi cântăreşte 10 *tone imperiale*. Se cunosc:

- densitatea apei de mare $\rho_s = 64{,}38\ lb/ft^3$
- 1tonă imperială = 2240 *lbs*.

Întrebări:

a. Cum este flotabilitatea turelei în mare?

b. Cât cântărește turela în mare?

Rezolvare

a. *Masa turelei este*

$m_t = 10 \times 2240 = 22400 lbs$

Masa de apă dezlocuită este

$m_a = V \times \rho_s = 400 \times 64.38 = 25752 lbs$

$m_a - m_t = 25752 - 22400 = 3352 lbs > 0$

Rezultă că flotabilitatea este pozitivă, turela plutește.

b. *Masa corpului scufundat este*

$3352 \times 0{,}4536 \approx 1521 kg$

8. Enunț:

O turelă sferică cu diametrul de 3*m* și grosimea peretelui de 5*cm*, având materiale cu masa însumată de 100 *kg*, plutește în apa de mare până la jumătate. Turela este construită dintr-un aliaj cu aluminiu, cu densitatea 3,5 g/cm^3. Se cunosc:

- densitatea apei de mare $\rho_s = 1030 kg/m^3$
- accelerația gravitațională - $g \cong 9{,}8\ m/s^2$

Întrebări:

a. Cât cântărește turela?

b. Care este forța Arhimede care acționează asupra turelei?

Rezolvare

a. Pentru a calcula masa turelei, trebuie să cunoaștem volumul exterior al corpului sferic al turelei. Din volumul sferei cu diametrul exterior D=3m, se scade volumul sferei interioare (volumul de aer, neutru) cu diametrul d.

$d = 3 - 2 \cdot 0{,}05 = 2{,}9m$

Volumul sferei: $V = \frac{4}{3}\pi R^3$.

Pentru sfera exterioară R=1,5m.

Pentru sfera interioară $r = \frac{2.9}{2} = 1.45m$

$V_e = \frac{4 \times 3{,}14 \times R^3}{3} = 14{,}13m^3$

$V_i = \frac{4 \times 3{,}14 \times r^3}{3} = \frac{4 \times 3{,}14 \times 1{,}45^3}{3} = 12{,}763m^3$

Volumul sferic de aliaj este:

$V_s = V_e - V_i = 14{,}13 - 12{,}763 = 1{,}537m^3$

Densitatea turelei $\rho_t = 3{,}5g/cm^3 = 3500kg/m^3$

Masa turelei încărcată cu materiale este:

$m_t = \rho_t V_s + 100 = 3500 \times 1{,}537 + 100 \cong 2432{,}5 + 100 \cong 5479.5kg$

b. Forța Arhimede este:

$(V_a \rho_s - m_t)g$

Volumul de apă dezlocuit este:

$V_a = (\frac{1}{2})V_e = 7{,}06m^3$

$A = (V_a \rho_s - m_t)g = (7{,}06 \times 1030 - 5479{,}5)9{,}8 = 17615N$

3.3. Probleme propuse

1. **Enunț:**

O turelă dezlocuiește 200 ft^3 apă de mare sărată și cântărește 12600 lb. Se cunosc:

- densitatea apei de mare $\rho_s = 1030kg/m^3$
- densitatea apei dulci $\rho_d = 1000kg/m^3$

Întrebări:

a. Cum este flotabilitatea turelei în mare? (*R:F/g=120kg, pozitivă*)

b. Care este masa aparentă a turelei în apă dulce, la același volum de apă dezlocuit? (*R: 50kg*)

2. Enunț:

O turelă dezlocuiește 300000 in^3 apă de mare sărată şi 50 m^3 în apa dulce iar masa ei aparentă în apă dulce este 100 kg. Se cunosc:

- densitatea apei de mare $\rho_s = 1030kg/m^3$
- densitatea apei dulci $\rho_d = 1000kg/m^3$

Întrebări:

Cum este flotabilitatea turelei în mare? (*R: m_{as}-m_t=739kg, pozitivă*)

3. Enunț:

Un lest de piatră cubic 1m x 1m x 1m, se află scufundat în mare. Se cunosc:

- densitatea apei de mare $\rho_s = 1030kg/m^3$
- densitatea pietrei $\rho_p = 1700kg/m^3$
- accelerația gravitațională - $g \cong 9{,}8\, m/s^2$
- 1 parașută subacvatică cu aer ridică$\sim 1tf$

Întrebări:

a. Ce forţă este necesară pentru a ridica lestul la suprafață? (Ignoraţi orice forţă de aspiraţie)? (*R:670 kgf*)

b. Câte parașute sunt necesare pentru a ridica lestul? (*R:1 parașută subacvatică*)

4. Enunț:

Un habitat pentru sudură are formă paralelipipedică: $(3m \times 4m \times 2{,}5m)$. Peretele este din oțel de grosime 50 *mm*.

Întrebări:

a. Cât cântărește habitatul în aer? (*R: 21.42t*)

b. Dacă este scufundat în apă dulce și dezlocuiește 5 m^3 de apă, cât cântărește el în apă? (*R=16.42t*).

Se cunoaște densitatea materialului din care este confecționat habitatul, $\rho_c = 7{,}5g/cm^3$.

5. Enunț:

O conductă scufundată în mare, care cântărește în aer 25 *t*, are dimensiunile exterioare:

$\emptyset = 2{,}5m$

$L = 4m$

și este închisă la capete.

Întrebări:

a. Cât cântărește conducta în apă? (*R: 4786kg*)

b. De câte parașute subacvatice este nevoie pentru a ridica conducta la suprafață? (*R: 5 parașute pentru 1 tonă fiecare*)

6. Enunț / Întrebare

Care este masa aparentă a habitatului de sudură scufundat în mare, cu masa în aer de 20 *t* și care are dimensiunile exterioare $3m \times 2m \times 2.5m$? (*R: 4.55t*)

Dar în apă dulce? (*R:5t*)

7. Enunț

O baliză sferică de plastic este scufundată în lac (apă dulce) cu 1/8 din volumul său. Raza balizei este 0,75 *m.* Baliza cântărește în aer 250 kg.

Întrebare

Cât cântărește ea în apă? (*R: 180 kg*).

8. Enunț

O turelă cilindrică cu diametrul de 3 *m*, înălțimea de 3 *m* și grosimea peretelui de 5 *cm*, încărcată cu 5*t* de material, este scufundată în mare. Turela este construită dintr-un aliaj, cu densitatea 5 g/cm^3. Se cunoaște: densitatea apei de mare $\rho_s = 1030kg/m^3$.

Întrebări:

c. Care este greutatea ei aparentă? (*R: 3164kgf*)

d. Cum poate fi ridicată la suprafață? (*R: 4 parașute subacvatice pentru 1 t fiecare*)

9. Enunț

O barcă cântărește în aer 2205 *lb* și dezlocuiește $5m^3$ apă de mare sărată.

Întrebare

Cum este flotabilitatea bărcii în mare? Densitatea apei de mare $\rho_s = 1030kg/m^3$.

(*R: pozitivă* $m_a > m_b$).

10. Enunț

Un bloc cubic de piatră cu latura de 1 *ft* este scufundat în apă dulce. Se cunosc:

- densitatea apei dulci $\rho_d = 1000kg/m^3$
- densitatea pietrei $\rho_p = 1700kg/m^3$

Întrebări

a. Ce forţă este necesară pentru a ridica blocul de pe fundul mării? (Ignoraţi orice forţă de aspiraţie)? (R: $\cong 19kgf$)

b. Cum poate ridica la suprafață, un scafandru, blocul de piatră? (cu ajutorul vestei de salvare).

11. Enunț

O ambarcațiune are carena (volumul care dezlocuiește apa) $V_a = 350\ ft^3$ și cântărește 15000 *lb*. Se cunosc:

- densitatea apei de mare $\rho_s = 64{,}38\ lb/ft^3$
- densitatea apei dulci $\rho_s = 1000kg/m^3$

Întrebări

a. Care este flotabilitatea navei în mare? (*R: 7533 lb pozitivă, plutește*)

b. Dar în lac (apa dulce)? (*R:3097 kg, pozitivă, plutește*)

12. Enunț

O turelă dezlocuiește 500 ft^3 apă de mare. În mare ea cântărește 20 *tone imperiale*. Se cunosc:

- densitatea apei de mare $\rho_s = 64{,}38lb/ft^3$
- 1tonă imperială = 2240 *lbs*.

Întrebări:

a. Care este volumul turelei? (*R: 500 ft^3*)

b. Care este masa turelei în aer? (*R: 34,37 tone imperiale*)

CAPITOLUL 4

PLANIFICAREA SCUFUNDĂRII ȘI A CONSUMULUI DE GAZ

4.1. Considerații teoretice

4.1.1. Volumul de gaz liber

Pentru alimentarea scafandrilor cu gaz respirator, la scufundarea profesională, consumul este de 35 *l/min*. Aceasta este o valoare medie şi poate varia enorm de la scafandru la scafandru şi în funcţie de gradul de dificultate a muncii executate.

Sistemele de recuperare a gazului au o pierdere de 5 *l/min* sau 0,18 ft^3/min, când acesta este recirculat.

Pentru cazurile de urgenţă, se foloseşte în mod uzual un debit respirator de 40 *l/min* sau 1.5ft^3/min, deoarece se iau în calcul efortul suplimentar și efectele şocului termic (dacă sistemul de încălzire al scafandrului nu funcţionează) şi al panicii. Anumite legislaţii naţionale şi companii pot să impună debite respiratorii mai mari pentru calcul în cazurile de urgenţă. Este bine să se consulte prevederile din manualul de scufundare utilizat de compania respectivă.

Pentru simplificarea calculelor, se consideră valoarea **35 *l/min*** ca fiind **"debitul de gaz liber vehiculat prin plămânii scafandrului"**, la activitatea moderată.

Exemplu: Dacă scafandrul lucrează la 30 *msw* (99 *fsw*), presiunea absolută este de 4 *bar* Debitul de gaz liber vehiculat prin plămânii scafandrului este în acest caz de 4 x 35 *l/min* sau 140 *l/min* (5 ft^3/min).

Volumul de gaz liber este volumul de gaz la presiunea de suprafaţă, adică la o presiune de 1 *bar*. Toate volumele de gaz sunt măsurate la presiunea de suprafaţă.

FGV$[l]$ (volumul de gaz liber, adică volumul de gaz la presiunea atmosferică), pe care butelia îl poate conţine, este dat de formula:

$$FGV = V_{in} \times p \tag{4.1}$$

$V_{in}[l]$ volumul inundabil se referă la volumul recipientului de stocare a gazului respirator.

$p[bar]$ este presiunea de încărcare.

C$[l/min]$ consumul de gaz este:

$$C = p \times \dot{V} \tag{4.2}$$

$\dot{V}$ $[l/min]$ este debitul de gaz consumat.

Pentru ușurința calculelor, pornind de la (4.2), IMCA (International Marine Contractors Association) a stabilit următoarele valori pentru debitul de gaz consumat:

Pentru o activitate moderată:

$\dot{V}$=35 *l/min*

$\dot{V}$=1.25 ft^3*/min*

Pentru o activitate intensă și pentru ieșirea de urgență cu butelia de rezervă

$\dot{V}$=40 *l/min*

$\dot{V}$=1.5 ft^3*/min*

Presiunea absolută la scufundare p_{abs} variază cu adâncimea:

$$p_{abs} = \frac{h(msw)}{10} + 1(bar) \tag{4.3}$$

$$p_{abs} = \frac{h(fsw)}{33} + 1(\text{atm}) \tag{4.4}$$

h(msw) este presiunea la adâncimea (*m*) de scufundare, în apa de mare

h(fsw) este presiunea la adâncimea (*ft*) de scufundare, în apa de mare.

La lucrul în larg, gazul este alimentat din rack-uri sau baterii de butelii.

La punctul de lucru, trebuie să se verifice întotdeauna numărul şi volumul buteliilor din rack-uri, precum şi presiunea în momentul livrării.

De ***exemplu*** volumul unei baterii de 54 de butelii, de câte 50*l* fiecare (6 rack-uri x 9 butelii), este:

V=54 x 50 l = 2700 *l* = 2,7m^3. Acesta este cunoscut ca volumul inundabil, deoarece reprezintă volumul de apă pe care-l poate cuprinde.

4.1.2. Gazul disponibil

O butelie obişnuită pentru aparatul de scufundare autonom (SCUBA = self contained underwater breathing apparatus) conţine aproximativ 2,5 m^3 sau 90 ft^3 de gaz când este plină. Acesta volumul de gaz liber.

În calculele practice volumul total nu este important. Cel care contează este volumul de gaz disponibil, volum pe care scafandrul îl poate realmente folosi.

Calculele se vor baza pe planul real de scufundare, care include coborârea la punctul de lucru, urcarea înapoi în siguranţă şi gazul necesar pentru a putea face faţă unei situaţii de criză (rezerva).

Exemplu: Presupunem că un scafandru lucrează la 130 msw respirând dintr-un rack la o presiune de 100 *bar*. Cu toate că presiunea este de 100 *bar,* gazul este furnizat scafandrului la 130msw, unde presiunea este de 14 *bar*. Rezultă că 14 *bar* de gaz nu sunt disponibili.

Este necesară de asemenea o anumită presiune, să zicem 10 *bari,* pentru a deschide supapa detentorului. Rezultă alţi 10 *bari* care nu sunt disponibili. În total 24 *bar* de gaz nu sunt disponibili pentru alimentarea scafandrului. Deci cantitatea maxim disponibilă pentru respiraţia scafandrului este de 76 *bar*.

În practică trebuie să se admită o marjă de eroare destul de mare şi să se schimbe rack-ul de alimentare când presiunea scade la aproximativ 40 bar. În acest caz, vor fi la dispoziţia scafandrului:

100 – 40 = 60 bar de gaz.

Aceasta este presiunea care trebuie luată în calcul, respectiv presiunea disponibilă $\boldsymbol{p_d}$.

La adâncimi mai mari, de exemplu $h \geq 200m$ *trebuie să se schimbe rack-ul la 50 bar.*

4.1.3. Timpul disponibil pentru scafandru

Pentru a afla cât timp poate lucra scafandrul cu gazul pe care îl are la dispoziție, se utilizează formula:

$$\tau_d = \frac{FGV_d}{C} \tag{4.5}$$

$\tau_d[min]$ este timpul disponibil

FGV_d $[l]$ – volumul de gaz liber disponibil

$$FGV_d = V_{in} \times p_d \tag{4.6}$$

Volumele de gaz sunt date deseori în “volum de gaz liber” (FGV), când recipientul este plin. În acest caz, volumul de gaz disponibil se calculează într-un mod uşor diferit:

$$FGV_d = V_{pl} \times \frac{p_d}{p_{pl}} \tag{4.7}$$

$\boldsymbol{V_{pl}}$ -$[l]$ volumul la plin

$\boldsymbol{p_{pl}}$ $[bar]$ – presiunea la plin

4.1.4. Volumul exact de Heliu

Pentru calculul volumelor de gaz liber al amestecurilor heliox este recomandat să se verifice presiunea la aceeaşi oră, zilnic. La variaţii mari de temperatură în timpul zilei,

se cer calcule mai elaborate, ținând cont și de faptul că heliul nu respectă exact legile gazelor.

Cele mai multe gaze respectă Legea lui Boyle - Mariotte. Dacă presiunea se dublează, volumul se înjumătăţeşte. Heliul nu respectă exact această lege. Diferenţa este de aprox. 2%.

În mod curent se foloseşte un tabel special "Calculul volumelor de heliu în recipiente cilindrice de oţel".

Se determină un factor de volum *fv* din acest tabel, în funcţie de temperatura şi de presiunea gazului şi apoi se aplică formula:

$$FGV = fv \cdot V_{in} \tag{4.8}$$

4.1.5. Gazul disponibil furnizat de compresoare

Compresoarele sunt calibrate în funcţie de debit. Acesta este volumul de gaz liber (FGV)/min al aerului care este furnizat scafandrului.

Volumul de aer folosit de scafandri variază în funcţie de gradul de dificultate al activității și al efortului depus de aceştia.

Presiunea de alimentare trebuie să fie suficient de mare ca aerul să ajungă la scafandru. La 50 *m*, care este general acceptată ca adâncimea maximă pentru scufundările cu aer furnizat de compresor, presiunea absolută este de 6 *bar*. În vederea funcţionării corecte a detentorului treapta a doua (10 bari peste presiunea absolută), presiunea de alimentare va trebui să fie de 16 *bar*. Pentru siguranţă se foloseşte o presiune de 20 *bar* (300 *psi*).

Majoritatea compresoarelor comerciale dedicate activității de scufundare alimentează aer la presiuni mult peste valoarea aceasta. Întotdeauna trebuie verificată presiunea de alimentare.

4.2.Probleme rezolvate

1. **Enunț**

Un scafandru lucrează în mare la 80 *msw* și respiră dintr-un rack de (16 x 50) *l* la o presiune de 150*bar*.

Întrebare

Cât timp poate el să lucreze? (Presupuneţi că rack-ul va fi schimbat la 40 bar).

Rezolvare

$V_{in} = 16 \times 50 = 800l = 0{,}8m^3$

$p_d = 150 - 40 = 110bar$

$FGV_d = V_{in} \times p_d = 0{,}8 \times 110 = 88m^3$

$p_{abs} = \frac{h}{10} + 1 = \frac{80}{10} + 1 = 9bar$

$C = p_{abs} \times \dot{V} = 9 \times 35 = 315l/min = 0{,}315m^3/min$

$\tau_d = \frac{FGV_d}{C} = \frac{88}{0{,}315} = 279min = \frac{279}{60} = 4\frac{39}{60} = 4h39min$

2. Enunț

Un scafandru lucrează în mare la 120 *msw* timp de 4 *ore*.

Se cunoaște:

$\dot{V}$ = 35 litri/min., debitul respirator pentru activitate moderată.

Întrebare

Ce volum de gaz consumă? (FGV_c)

Rezolvare

$p_{abs} = \frac{h(msw)}{10} + 1 = \frac{120}{10} + 1 = 13\ bar$

$C = p_{abs} \times \dot{V} = 13 \times 35 = 455l/min$

$\tau = 4h = 240min$

$FGV_c = C \times \tau = 455 \times 240 = 109200l = 109.2m^3$

3. Enunț

Un scafandru lucrează în mare la 100 f*sw* timp de 30*min*.

Se cunosc:

- 1fsw = 0,304801 *msw;*
- $\dot{V}$ = $35l/min.$, debitul respirator pentru activitate moderată.

Întrebare

Ce volum de gaz consumă scafandrul?

Rezolvare

$100fsw = 30.48msw$

$p_{abs} = \frac{h(msw)}{10} + 1 = \frac{30{,}48}{10} + 1 = 4.05bar$

$C = p_{abs} \times \dot{V} = 4{,}05 \times 35 = 141.75 l/min$

$FGV_d = C \times \tau = 141{,}75 \times 30 = 4252{,}5 l = 4.2525 m^3$

4. Enunț

Doi scafandri lucrează în mare la 75 *m* adâncime, timp de 4 *ore*.

Se cunoaște:

$\dot{V}$ = 35 *l/min*., debitul respirator pentru activitate moderată.

Întrebare

Ce volum de gaz consumă cei doi scafandri?

Rezolvare

$p_{abs} = \frac{h(msw)}{10} + 1 = \frac{75}{10} + 1 = 8.5 bar$

$C = 2 \times p_{abs} \times \dot{V} = 2 \times 8{,}5 \times 35 = 595 l/min$

$\tau = 4h = 240 min$

Volumul de gaz liber pentru cei 2 scafandri:

$FGV_d = C \times \tau = 595 \times 240 = 142800 l = 142.8 m^3$

5. Enunț

Un scafandru care respiră aer lucrează la adâncimea de 150*fsw*, timp de 1.5 ore.

Se cunosc:

- 1fsw = 0,304801 *msw;*
- $\dot{V}$ = 35 l/min., debitul respirator pentru activitate moderată.

Întrebare

- Ce volum de gaz consumă scafandrul?

Rezolvare

$150(fsw) = 45{,}72 msw$

$p_{abs} = \frac{h(msw)}{10} + 1 = \frac{45{,}72}{10} + 1 = 5.572 bar$

$C = p_{abs} \times \dot{V} = 5{,}572 \times 35 = 195.02 l/min$

$\tau = 1.5\ ore = 1.5 \times 60 = 90 min$

$FGV_d = C \times \tau = 195.02 \times 90 = 17551.8 l = 17.552 m^3$

6. Enunț

Un scafandru lucrează la 150 *msw*. El consumă gaz dintr-un rack de 64 butelii x 50*l*, la presiunea de 120 *bar.*

Se cunoaște:

$\dot{V}$ *= 35 litri/min*., debitul respirator pentru activitate moderată.

Întrebări

- Ce volum de gaz este disponibil pentru scafandru?
- Cât timp poate lucra până va fi schimbat rack-ul?

Rezolvare

Volumul inundabil:

$V_{in} = 50 \times 64 = 3200l$

Presiunea disponibilă:

$p_d = 120 - 40 = 80\ bar$

Volumul de gaz liber disponibil:

$FGV_d = V_{in} \times p_d = 3200 \times 80 = 256000l = 256m^3$

$p_{abs} = \frac{h(msw)}{10} + 1 = \frac{150}{10} + 1 = 16bar$

$C = p_{abs} \times \dot{V} = 16 \times 35 = 560l/min$

Timpul de lucru cu gazul disponibil, la 150 msw este:

$\tau = \frac{FGV_d}{C} = \frac{256000}{560} = 457min = 7ore37min$

Nu este cazul, se recomandă maxim 3 sau 4 ore (pentru alte companii) de lucru, pentru un scafandru. Pot munci 3 scafandri câte 2h32min cu gazul disponibil.

7. Enunț

Un rack conține gaz respirator cu un volum liber de 5400 ft^3, stocat la o presiune de 2800*psi*. El poate fi utilizat până când presiunea scade la 400 *psi*. Se cunosc:

- 1 ft^3 = 28.317 dm^3
- 1 *psi* = 6.8947 x 10^{-2} *bar*

Întrebare: Care este volumul de gaz disponibil pentru scafandru?

Rezolvare

P_s*=2800psi=193bar*

Presiunea disponibilă din rack este: p_d=2800-400=2400 psi=165bar

Volumul de gaz liber este: $FGV = 5400ft^3 = 153m^3$

Volumul inundabil (volumul rack-ului) este: $V_{in} = \frac{FGV}{p_s} = \frac{153}{193} = 0.8m^3$

Volumul de gaz liber disponibil este:

$FGV_d = V_{in} \times p_d = 0.8 \cdot 165 = 132m^3$

8. Enunț

Un rack are 22500 ft^3 gaz la o presiune de 3000 psi. Poate fi utilizat până când presiunea scade la 450 psi.

Se cunosc:

- 1 ft^3 = 28.317 dm^3
- 1 *psi* = 6.8947 x 10^{-2} *bar*

Întrebare: Ce volum de gaz este disponibil pentru scafandru?

Rezolvare

Presiunea de stocare este

$p_s = 3000psi = 207bar$

Volumul liber de gaz este:

$FGV = 22500ft^3 = 637m^3$

Volumul inundabil (volumul rack-ului) este:

$V_{in} = \frac{FGV}{p_s} = \frac{637}{207} = 3.077m^3$

Presiunea disponibilă este:

$p_d = 3000 - 450 = 2550psi = 175bar$

Volumul de gaz liber disponibil pentru scafandru este:

$FGV_d = V_{in} \cdot p_d = 3.077 \cdot 175 = 538m^3$.

9. Enunț

Un rack de 12 butelii x 50 litri este la o presiune de 25 bar.

Întrebare*:* Ce volum de gaz va fi necesar pentru a umple rack-ul până la o presiune de stocare de 200 bar, presupunând că temperatura rămâne constantă?

Rezolvare

Volumul inundabil (volumul rack-ului) este:

$V_{in} = 12 \cdot 50 = 600l = 0.6m^3$

Presiunea de umplere este:

$p_u = 200 - 25 = 175bar$

Volumul de gaz liber necesar până la umplere este:

$FGV_u = p_u \cdot V_{in} = 175 \cdot 0.6 = 105m^3$

10. Enunț

Un scafandru lucrează în mare la 75 *m* adâncime. El respiră dintr-un rack care conţine 600 m^3 de gaz când se află la o presiune de 250 *bar*. În momentul când el respiră din rack presiunea este de 190 *bar*. Se cunoaște debitul de gaz consumat de scafandru $\dot{V} = 35l/min$

Întrebare: Cât timp poate lucra scafandrul, presupunând că rack-ul va fi schimbat la 35*bar*?

Rezolvare

Presiunea absolută: $p_{ab} = \frac{75}{10} + 1 = 8.5bar$

Presiunea de stocare $p_s = 250bar$

Volumul de gaz liber: $FGV = V_{in} \cdot p_s \rightarrow V_{in} = \frac{FGV}{p_s} = \frac{600}{250} = 2.4m^3$

Presiunea disponibilă: $p_d = 190 - 35 = 155bar$

Volumul de gaz liber disponibil este.

$FGV_d = V_{in} \cdot p_d = 2.4 \cdot 155 = 372m^3 = 372000l$

Consumul de gaz este: $C = p_{ab} \cdot \dot{V} = 8.5 \cdot 35 = 297.5l/min$

Timpul disponibil este:

$\tau = \frac{FGV_d}{C} = \frac{372000}{297.5} = 1250min = \frac{1250}{60} = 20\frac{50}{60} = 20h50min$

Nu este cazul, se recomandă maxim 3 ore de lucru pentru un scafandru. Pot munci 7 scafandri câte 2h57min cu gazul disponibil.

11. Enunț

Un compresor de joasă presiune care furnizează 500 *l/min* la 20 *bar* alimentează de la suprafață un scafandru care lucrează la adâncimea de 30 *m*. Se cunoaște debitul de gaz consumat de scafandru $\dot{V} = 40l/min$

Întrebări

Parametrii compresorului sunt suficienți pentru scafandru?

Câți scafandri pot lucra simultan, în aceleași condiții, dacă sunt alimentați cu același compresor?

Rezolvare

La 30 msw presiunea absolută este: $p_{ab} = \frac{30}{10} + 1 = 4bar$

Consumul de gaz este: $C = p_{ab} \cdot \dot{V} = 4 \cdot 40 = 160l/min$

Presiunea minimă necesară este: $p_{ab} + 10 = 4 + 10 = 14bar$

Cei 10bar peste presiunea mediului sunt necesari pentru a asigura funcționarea treptei a II-a a detentorului.

$\left.\begin{matrix} 500l/min > 160l/min \\ 20bar > 14bar \end{matrix}\right\} \rightarrow$ *parametrii asigurați de compresor sunt suficienți pentru 1 scafandru.*

Numărul de scafandri care pot lucra simultan în aceste condiții, alimentați de același compresor este: $n = \frac{\dot{V}}{C} = \frac{500}{160} = 3$ *scafandri.*

12. Enunț

Doi scafandri trebuie să execute o lucrare la 50*m* adâncime, în condiții de urgență (consum 40l/min).

Întrebare

Ce parametri minimi trebuie să asigure compresorul?

Rezolvare

La adâncimea de 50m presiunea absolută este: $p_{ab} = \frac{50}{10} + 1 = 6bar$

Debitul consumat de cei doi scafandri este: $C = p_{ab} \cdot \dot{V} \cdot n = 6 \cdot 40 \cdot 2 = 480l/min$

Pentru funcționarea detentorului treapta a II-a sunt necesari 10bar care se adaugă la presiunea absolută $p_{ab} = 6bar$. *Pentru siguranță se preferă o presiune suplimentară. Se recomandă:*

- 500 *l/min*
- 20 *bar*.

4.3. Probleme propuse

1. Enunț

Un scafandru lucrează la 100 *m* adâncime și respiră dintr-un rack de (10 x 50) *l* la o presiune de 200 *bar*. Se consideră: $\dot{V}$ = 35 litri/min., debitul respirator pentru activitate moderată.

Întrebare

Cât timp poate el să lucreze? (Presupuneţi că rack-ul va fi schimbat la 40 bar).

(R: 3h27min.)

2. Enunț

Un scafandru lucrează în mare la 60 *m* adâncime și respiră dintr-un rack de (8 x 50) *l* la o presiune de 250 *bar*. Se consideră: $\dot{V}$ = 35 litri/min., debitul respirator pentru activitate moderată.

Întrebare

Cât timp poate el să lucreze? (Presupuneţi că rack-ul va fi schimbat la 40 bar).

(R: 5h42min.)

3. Enunț

Un scafandru lucrează la 100 *m* adâncime timp de 5 *ore*.

Se cunoaște: $\dot{V}$ = 35 litri/min., debitul respirator pentru activitate moderată.

Întrebare

Ce volum de gaz consumă?

(R: 115.5m^3)

4. Enunț

Un scafandru lucrează la 200 *m* adâncime timp de 3 *ore*.

Se cunoaște: $\dot{V}$ = 45 litri/min., debitul respirator pentru activitate intensă.

Întrebare

Ce volum de gaz consumă?

Considerând că alimentarea se face din butelii de 50 *l*, presurizate la 250 bar, câte astfel de butelii sunt necesare?

(R: 170.1m^3 și 18 butelii)

5. Enunț

Un scafandru lucrează în mare la 250 *m* adâncime. El respiră dintr-un rack care conţine 300 m^3 de gaz când se află la o presiune de 300 *bar*. În momentul când el respiră din rack presiunea este de 200 *bar*. Se cunoaște debitul de gaz consumat de scafandru $\dot{V} = 40l/min$

Întrebare: Cât timp poate lucra scafandrul, presupunând că rack-ul va fi schimbat la 50*bar*?

(R=2h24min)

6. Enunț

Un rack conține gaz respirator cu un volum liber de 3200 ft^3, stocat la o presiune de 3000*psi*. El poate fi utilizat până când presiunea scade la 500 *psi*. Se cunosc:

- 1 ft^3 = 28,317 dm^3
- 1 *psi* = 6,8947 x 10^{-2} *bar*
- Consumul necesar $\dot{V} = 40l/min$

Întrebări:

- Care este volumul de gaz disponibil pentru scafandru? (*R=68.8*m^3)
- Cât timp ajunge gazul respirator dacă acesta alimentează un scafandru care lucrează la 80*m* adâncime*?* (*R=3h11min*)
- Dar pentru 4 scafandri care lucrează în aceleași condiții?

(*R: 47min*)

7. Enunț

Un scafandru este alimentat cu aer dintr-un rack de butelii presurizate la 250 *bar* și lucrează la 50*m* adâncime, timp de 2 ore.

Se cunoaște:

- $\dot{V}$ = 35 l/min., debitul respirator pt. activitate moderată.

Întrebări

- Ce volum de aer consumă scafandrul?
- Care este volumul inundabil minim al rack-ului de butelii, pentru a asigura alimentarea scafandrului și revenirea acestuia la suprafață?

(R: 25.2m^3 și 120l)

8. Enunț

Trei scafandri lucrează în afara turelei la 100 *m* adâncime. Se cunosc:

- $\dot{V}$ = 40 l/min., debitul respirator mediu consumat de scafandri;
- presiunea minimă la care se schimbă rack-ul este 50 *bar.*

Întrebări

- Ce volum de gaz vor consuma ei în 4 ore?
- Dacă alimentarea se face dintr-un rack de stocare presurizat la 300*bar,* care este volumul minim al acestuia*?*

(R: 28.8m^3 și 116l)

9. Enunț

Un scafandru lucrează la 75 *m* adâncime și are o butelie de rezervă de 10*l,* cu gaz presurizat la 250 *bar*. Se cunoaște:

- $\dot{V}$ = 35 l/min., debitul respirator pentru activitate moderată

Întrebare

Ce volum de gaz disponibil este în butelia de rezervă?

(R=2.1m^3).

10. Enunț

Un compresor de aer de joasă presiune alimentează cu un debit de 300*l/min*, la o presiune de 20 *bar*, 3 scafandri, pentru o lucrare subacvatică la 25 *m* adâncime.

Întrebare

Aerul furnizat de compresor acoperă consumul de gaz și presiunea necesară pentru cei trei scafandri alimentați de la suprafață?

(R:p_{min}=13.5bar<20bar – suficientă; C_{tot}=367.5l/min>300l/min – debit insuficient)

11. Enunț

Doi scafandri lucrează la 200 *fsw*. Ei respiră dintr-un rack care are 6000 ft^3, gaz stocat la 3000 *psi*. Rack-ul se utilizează până la o presiune de 600 psi. Se cunosc:

- 1 ft^3 = 28,317 dm^3
- 1 *psi* = 6,8947 x 10^{-2} *bar*
- 1fsw = 0,304801 *msw*
- Debitul necesar pentru activitate moderată $\dot{V} = 35 l/min$

Întrebare

Cât timp pot utiliza cei doi scafandri gazul disponibil?

(R: 4h 36min)

CAPITOLUL 5

APLICAȚII ALE LEGILOR GAZELOR ÎN ACTIVITATEA DE SCUFUNDARE

5.1. Exemplificări ale aplicării legilor gazelor în scufundare

Legea generală a gazelor

Gazele respiratorii utilizate în scufundare sunt stocate la o anumită temperatură de suprafață, temperatură care se schimbă la contactul cu apa rece de la adâncimea de scufundare.

Enunț: O turelă deschisă de 5 m^3 este scufundată la 35 *m* adâncime. Temperatura aerului din turelă înainte de scufundare, este de 25 ^{0}C. La adâncime această temperatură scade la 10 ^{0}C.

Întrebare: Care este volumul de aer din turela scufundată?

Rezolvare

Transformarea gazului respectă Legea generală a gazelor:

$\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2} \rightarrow V_2 = \frac{p_1V_1T_2}{T_1p_2}$

Elementele cunoscute sunt:

$p_1 = 1\ bar$

$p_2 = 3{,}5 + 1 = 4{,}5\ bar$

$V_1 = 5m^3$

$T_1 = 25 + 273{,}15 = 298{,}15K$

$T_2 = 10 + 273{,}15 = 283{,}15K$

Volumul de aer din turela scufundată este:

$V_2 = \frac{1\times5\times283.15}{298.15\times4.5} = 1.055m^3$

Legea lui Boyle - Mariotte

Figura 5.1 ilustrează foarte bine variația volumului de aer din plămâni în timpul scufundării libere.

Alt exemplu în care se aplică legea Boyle este prezentat mai jos.

Enunț: Un clopot de scufundare deschis este scufundat la o adâncime de 15 *m*, fără să se mai introducă sau să se scoată aer din el iar temperatura rămâne constantă.

Întrebare: Ce volum are aerul din clopot la această adâncime, dacă volumul clopotului este de *10 m^3*?

Rezolvare

$p_0V_0 = p_1V_1$

$p_0 = 1\ bar = 10^5 Pa$ - *presiunea atmosferică la suprafață*

V_0*=10 m^3 – volumul de aer de la suprafață*

$p_1 = \frac{15}{10} + 1 = 2.5\ bar = 2.5 \times 10^5 Pa$

Volumul aerului

$V_1 = \frac{p_0V_0}{p_1} = \frac{1\times10}{2,5} = 4m^3$

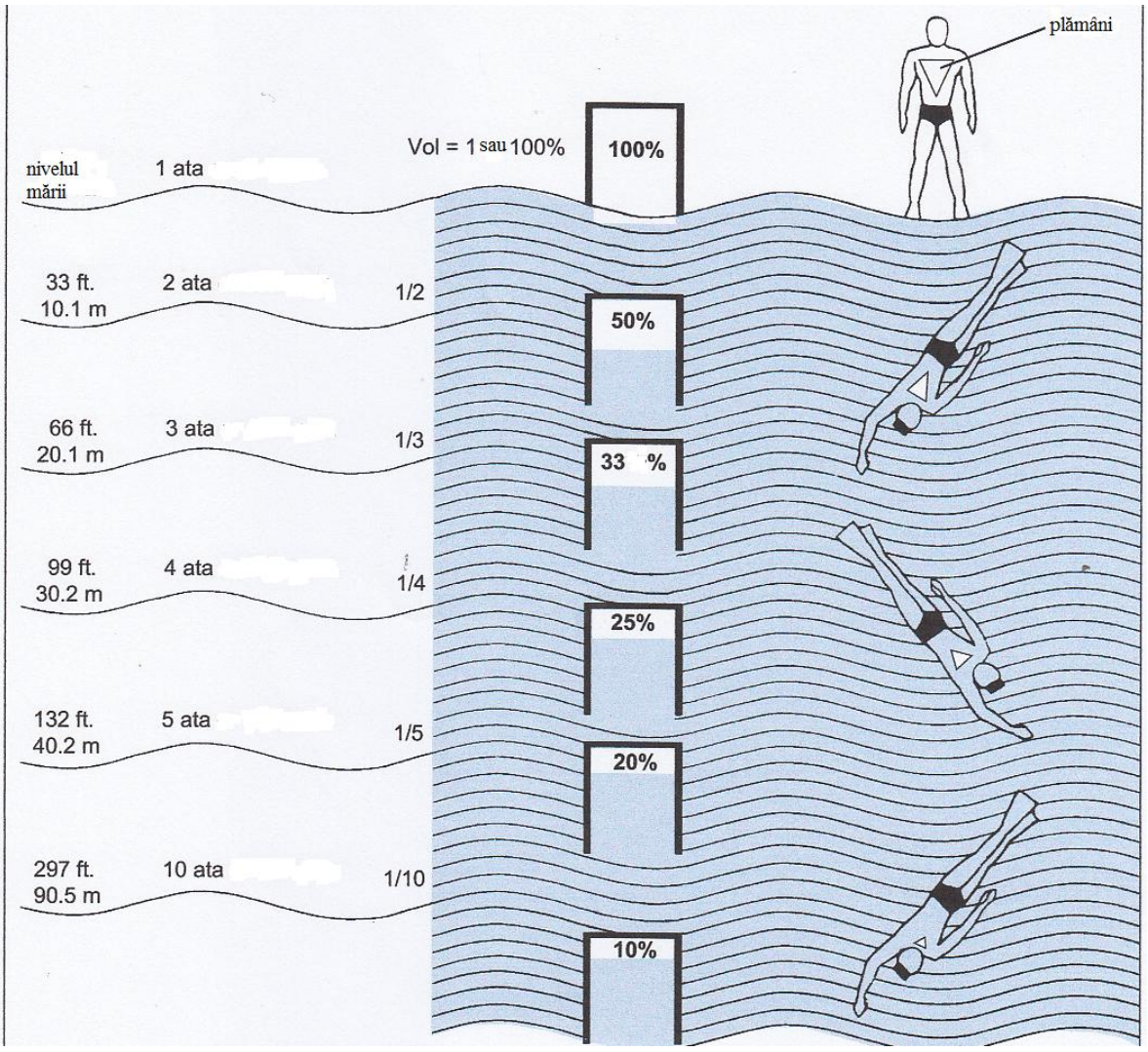

Figura 5.1 Legea Boyle - Mariotte: volumul de gaz din plămâni se micșorează proporțional cu creșterea adâncimii la scufundarea în apnee [NOAA, 2005]

Legea lui Gay - Lussac

Enunț: Un balon umplut cu aer, are la suprafață volumul $V_1 = 0.3m^3$. El este scufundat în apă la 10 *m*. Temperatura aerului la suprafață este de 25^0C, dar temperatura apei la locul scufundării este de 15^0C.

Întrebare: Ce se întâmplă cu balonul la 10 *m* adâncime?

Rezolvare

La 10 m adâncime, presiunea din balon este aceeași ca la suprafață, respectiv p_b.

$p_1 = p_2 = p_b$ *(Transformare izobară)*

$T_1 = (25 + 273{,}15)K = 298.15K]$

$T_2 = (15 + 273{,}15)K = 288.15K$

Se aplică Legea lui Gay- Lussac:

$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \rightarrow V_2 = V_1 \frac{T_2}{T_1} = 0{,}3 \frac{288{,}15}{298{,}15} = 0{,}29m^3 = 290dm^3$

Volumul scade cu $300 - 290 = 10dm^3 = 10l.$

Legea lui Charles

Enunț: Buteliile de scufundare de rezervă, ținute în soare se încălzesc și presiunea lor inițială se modifică dar volumul de gaz rămâne constant. Se consideră o butelie de 12 *l*, încărcată la 200 *bar* presiune manometrică, la mal unde temperatura inițială este 20^0C. După un timp butelia se încălzește la 25^0C.

Întrebare: Care este presiunea din butelie, indicată de manometrul de control, după încălzirea ei?

Rezolvare

Presiunea inițială este:

$p_1 = 200bar$

Volumul buteliei rămâne constant, transformarea este izocoră, se aplică Legea lui Charles și se calculează presiunea p_2*:*

$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \rightarrow p_2 = p_1 \frac{T_2}{T_1} = 200 \left(\frac{25+273{,}15}{20+273{,}15}\right) = 203.4bar$

Presiunea la manometru, după încălzirea buteliei este $203.4bar$.

Legea lui Dalton

Enunț: Componența aerului atmosferic este:

- Azot N_2 - 78%=0.78
- Oxigen O_2 - 21%=0.21
- Bioxid de carbon - CO_2 0.03%=0.0003
- Alte gaze $\approx$ 0.97%

Întrebare: Ce presiuni parțiale ale gazelor componente are o butelie cu aer atmosferic, la presiunea atmosferică ?

Rezolvare

$p_{atm} = 1bar$

$p_{N_2} = 0.78 \cdot 1 = 0.78bar$

$p_{O_2} = 0.21 \cdot 1 = 0.21\ bar$

$p_{CO_2} = 0.0003 \cdot 1 = 0.0003bar = 0.3mb$

Enunț: La 50 *msw* presiunea mediului este 6 *bar*.

Întrebare: Ce presiuni parțiale va avea aerul la 50 *msw?*

Rezolvare

Aerul presurizat la 6 bar va avea următoarele presiuni:

$p_{N_2} = 0.78 \cdot 6 = 4.68bar$

$p_{O_2} = 0.21 \cdot 6 = 1.26\ bar$

$p_{CO_2} = 0.0003 \cdot 6 = 0.0018bar = 1.8mb$

5.2. Probleme rezolvate

1. Enunț

O butelie este umplută până la 200 *bar* și temperatura sa ajunge la 35^0C.

Întrebare

Care va fi presiunea de stocare p_s la temperatura de 5^0C?

Rezolvare

V_b - *volumul buteliei*

$p_i = 200bar$ - *presiunea inițială*

$t_i = 35^0C \rightarrow T_i = (273 + 35)K = 308K$ - *temperatura inițială*

$t_s = 5^0C \rightarrow T_s = (273 + 5)K = 278K$ - *temperatura de stocare*

Se aplică Legea generală a gazelor:

$\frac{p_i V_b}{T_i} = \frac{p_s V_b}{T_s} \rightarrow p_s = \frac{p_i T_s}{T_i} = \frac{200 \cdot 278}{308} = 180.5bar$

2. Enunț

O butelie este umplută până la 2500 psi și temperatura sa ajunge la 30^0C. Se cunoaște: $1psi = 0.069bar$.

Întrebare

Care va fi presiunea de stocare p_s la temperatura de 6^0C?

Rezolvare

V_b - *volumul buteliei*

$p_i = 2500psi = 172.5bar$ - *presiunea inițială*

$t_i = 30^0C \rightarrow T_i = (273 + 30)K = 303K$ - *temperatura inițială*

$t_s = 6^0C \rightarrow T_s = (273 + 6)K = 279K$ - *temperatura de stocare*

Se aplică Legea generală a gazelor:

$\frac{p_i V_b}{T_i} = \frac{p_s V_b}{T_s} \rightarrow p_s = \frac{p_i T_s}{T_i} = \frac{172.5 \cdot 279}{303} \cong 159bar$

3. Enunț

Un scafandru aflat în scufundare la adâncimea de 60 m, respiră un amestec nitrox 16%.

Întrebări*:*

- Care este presiunea parțială a oxigenului?
- Este o valoare care se încadrează în limitele de securitate ale presiunii parțiale a oxigenului, admise în scufundare?

Rezolvare

$h = 60m \rightarrow p_{ab} = \frac{60}{10} + 1 = 7bar$ – *presiunea absolută*

$p_{pO_2} = \frac{16}{100} p_{ab} = \frac{16 \cdot 7}{100} = 1.12bar$ - *presiunea parțială a oxigenului*

$0.17bar < 1.12bar < 1.6bar$ - p_{pO_2} *se încadrează în limitele de securitate admise în scufundare.*

4. Enunț

Un scafandru aflat în scufundare la 200fsw, respiră aer atmosferic (21%O_2). Se cunoaște: $1fsw = 0{,}304801\ msw$.

Întrebare*:* Este scafandrul în limitele de securitate în raport cu oxigenul?

Rezolvare

$200fsw = 200 \cdot 0{,}304801 \cong 70msw \rightarrow p_{ab} = \frac{70}{10} + 1 = 8bar$ – *presiunea absolută*

$p_{pO_2} = \frac{21}{100} p_{ab} = \frac{21 \cdot 8}{100} = 1.68bar$ – *presiunea parțială a oxigenului*

$0.17bar < 1.68bar$

$1.68bar > 1.6bar$ - p_{pO_2} *nu se încadrează în limitele maxime de securitate recomandate în raport cu oxigenul și mai există și pericolul de narcoză.*

5. Enunț/Întrebare

Care este presiunea parțială a oxigenului într-o barocameră la 20 m adâncime dacă concentraţia de oxigen este de 25%?

Rezolvare

$h = 20m \rightarrow p_{ab} = \frac{20}{10} + 1 = 3bar$ – *presiunea absolută*

$p_{pO_2} = \frac{25}{100} p_{ab} = \frac{25 \cdot 3}{100} = 0.75bar$ – *presiunea parțială a oxigenului*

$0.17bar < 0.75bar < 1.6bar$ - p_{pO_2} *se încadrează în limitele de securitate în raport cu oxigenul, admise în scufundare.*

6. Enunț/Întrebare

Care este presiunea parțială a oxigenului dintr-o barocameră presurizată cu amestec respirator 5%, la 200 m adâncime? Este o valoare sigură pentru scafandri?

Rezolvare

$h = 200m \rightarrow p_{ab} = \frac{200}{10} + 1 = 21bar$ – *presiunea absolută*

$p_{pO_2} = \frac{5}{100} p_{ab} = \frac{5 \cdot 21}{100} = 1.05bar$ – *presiunea parțială a oxigenului*

$0.17bar < 1.05bar < 1.6bar$ - p_{pO_2} *se încadrează în limitele de securitate în raport cu oxigenul, admise în scufundare.*

7. Enunț

În timpul unei scufundări în saturație, presiunea parțială a oxigenului din barocameră, la $100m$ adâncime nivelul de viață, este de 500 *mb*.

Întrebare

Care este concentraţia oxigenului?

Rezolvare

$h = 100m \rightarrow p_{ab} = \frac{100}{10} + 1 = 11bar$ – *presiunea absolută*

$p_{pO_2} = 500mb = 0.5bar$ – *presiunea parțială a oxigenului*

Participația volumică a oxigenului este

$rO_2 = \frac{p_{pO_2}}{p_{ab}} = \frac{0.5}{11} = 0.045 \rightarrow 4.5\%O_2$ – *concentrația de oxigen.*

8. Enunț

În timpul unei scufundări în saturație la 100 *m* adâncime, scafandrii au nevoie de o presiune parțială a oxigenului între 0,4 şi 0,6 *bar*.

Întrebare

Care este amestecul respirator potrivit?

Rezolvare

$p_{ab} = \frac{100}{10} + 1 = 11bar$ – *presiunea absolută*

$p_{pO_2} = rO_2 \cdot p_{ab} \rightarrow rO_2 = \frac{p_{pO_2}}{p_{ab}}$

Pentru valoarea minimă $p_{pO_2} = 0.4bar$ *participația volumică de* O_2 *este:*

$rO_{2min} = \frac{p_{pO_2min}}{p_{ab}} = \frac{0.4}{11} = 0.036 \rightarrow procentul\ minim = 3.6\%O_2$

Pentru valoarea maximă $p_{pO_2} = 0.6bar$ *participația volumică de* O_2 *este:*

$rO_{2max} = \frac{p_{pO_2max}}{p_{ab}} = \frac{0.6}{11} = 0.054 \rightarrow procentul\ maxim = 5.4\%O_2$

9. Enunț/Întrebare

Dacă presiunea parțială a oxigenului dintr-o barocameră trebuie să fie între 1.2 – 1.6 *bar*, care sunt adâncimile minimă și maximă (în *m*) la care se poate folosi un amestec de 15%?

Rezolvare

Presiunea parțială minimă este:

$p_{pO_{2min}} = rO_2 \cdot p_{abmin} \rightarrow p_{abmin} = \frac{p_{pO_{2min}}}{rO_2}$

$rO_2 = 0.15$

$p_{pO_{2min}} = 1.2bar$

Adâncimea minimă

$p_{abmin} = \frac{p_{pO_{2min}}}{rO_2} = \frac{1.2}{0.15} = 8bar \rightarrow p_{hmin} = (8-1) \cdot 10 = 70msw$

Adâncimea maximă

$p_{pO_{2max}} = 1.6bar$

$p_{abmax} = \frac{p_{pO_2max}}{rO_2} = \frac{1.6}{0.15} = 10.6bar \rightarrow p_{hmax} = (10.6-1) \cdot 10 = 96msw.$

10. Enunț

La finalul unei scufundări cu presurizare rapidă, la 200 m adâncime amestecul respirator trimix (heliu - azot – oxigen) rezultat prin suprapunerea helioxului 6/94 peste aerul existent (nitrox 21/79), are presiunea parțială a oxigenului 1680*mb*.

Întrebare

Care sunt presiunea parțială a heliului și participația lui volumică la sfârșitul presurizării, pentru a putea corecta amestecul respirator?

Rezolvare

Presiunea parțială a azotului din aer rămâne constantă (nu se mai adaugă azot în incinta presurizată) și este cea inițială:

$p_{pN_2} = \frac{79}{100} p_0 = \frac{79}{100} \cdot 1 = 0.79bar = ct.$

Presiunea absolută la 200 m adâncime *este:*

$p_{ab} = \frac{200}{10} + 1 = 21bar$

Presiunea parțială a oxigenului măsurată la 200 m adâncime *este:*

$p_{pO_2} = rO_2 \cdot p_{ab} \rightarrow rO_2 = \frac{p_{pO_2}}{p_{ab}} = \frac{1.68}{21} = 0.08$

Participația volumică a azotului la 200 m adâncime *este:*

$rN_2 = \frac{p_{pN_2}}{p_{ab}} = \frac{0.79}{21} = 0.038$

Participația volumică a heliului rezultă din ecuația:

$rO_2 + rN_2 + rHe = 1 \rightarrow rHe = 1 - (0.08 + 0.038) = 0.882 \rightarrow 88.2\% He$

Presiunea parțială a heliului la 200 msw este:

$p_{pHe} = rHe \cdot p_{ab} = 0.882 \cdot 21 = 18.5bar$

5.3. Probleme propuse

1. **Enunț/Întrebare**

Dacă avem un amestec respirator sintetic 5/95 Heliox pentru presurizarea unei barocamere și presiunea parțială a oxigenului nu trebuie să depășească 600*mb*, care este adâncimea maximă până la care se folosește acest amestec?

(R=$110msw$)

2. **Enunț**

O butelie este umplută până la 300 *bar* și temperatura sa ajunge la 40^0C.

Întrebare

Care va fi presiunea de stocare p_s la temperatura de 10^0C?

(R=271bar)

3. **Enunț**

Un scafandru aflat în scufundare la adâncimea de 30 m, respiră un amestec nitrox 25%. La un moment dat este nevoit să coboare până la 60 m pentru 10 minute.

Întrebare

Care este presiunea parțială a oxigenului la fiecare dintre cele două paliere de adâncime? Sunt valori care se încadrează în limitele de securitate la scufundare în raport cu oxigenul?

(R: 1.75bar).

4. **Enunț**

O turelă deschisă de 7 m^3 este scufundată la 50 m adâncime. Temperatura aerului din turelă la suprafață, este de 30 ^{0}C. La adâncime această temperatură scade la 15 ^{0}C.

Întrebare: Care este volumul de aer din turelă sub apă? *(R: 1m^3)*

5. **Enunț**

Un scafandru încarcă dimineața buteliile de $2 \times 12l$ cu aer atmosferic. La verificare temperatura aerului din butelii este de 10 C^0 și presiunea este 250 *bar*. Înainte de scufundare buteliile s-au încălzit la soare.

Întrebare

Care este temperatura lor dacă presiunea măsurată este 260 *bar*?

(R: 21^{0}C)

6. **Enunț**

Un balon de cauciuc elastic este umflat în mare la adâncimea de 10 m dintr-o butelie de rezervă, până când este în echipresiune cu mediul. El are acum un diametru de 0.6*m*. Balonul este ridicat la suprafață.

Întrebare

Ce diametru are acum balonul dacă temperatura nu variază. *(R: 76cm)*

7. **Enunț**

Un scafandru este alimentat de la suprafață din 2 butelii de 12*l* cu presiunea de 200 *bar*.

Întrebări:

- Care este volumul de gaz disponibil pentru a lucra la 60m adâncime și cât timp îi ajunge acesta scafandrului? *(R: FGVd=4392l și* $\tau = 15min40s$*)*
- Dacă buteliile au stat la soare și s-au încălzit de la 15^0C la 20^0C, care va fi timpul disponibil? *(R: 15min56s)*

8. Enunț

La planificarea unei scufundări s-a impus menținerea presiunii parțiale a oxigenului în limitele: 600 – 800 *mb.*

Întrebare

Care sunt limitele de adâncime la care poate fi utilizat un amestec de 10% oxigen?

(R: 50 – 70 m).

9. Enunț

O cameră hiperbară de 15 m^3 este presurizată cu amestec respirator până la 100 m adâncime. Temperatura de incintă ajunge la 35^0C imediat după presurizare, dar după 10 minute atmosfera camerei măsoară 25^0C.

Întrebare*:* Care va fi adâncimea din cheson după răcire? *(R: 96 m)*

10. Enunț

Un clopot deschis scufundat la 10 m adâncime conține 4m^3 de aer.

Întrebări:

- Ce volum are clopotul? *(R: 8*m^3*)*
- La ce adâncime volumul de aer se micșorează la 2m^3? *(R: 30 m* adâncime*).*

11. Enunț

Un scafandru respiră dintr-o mască BIBS (built in breathing system) cu debitul de 20l/min. El utilizează regulatorul de presiune 4 cicluri a câte 25 minute, la adâncimea de 40m.

Întrebare: Cât gaz respirator consumă scafandrul? (*R*: *10* m^3)

CAPITOLUL VI

FABRICAREA AMESTECURILOR DE GAZE RESPIRATORII

6.1. Noțiuni de fabricare a amestecurilor gazoase

Amestecurile respiratorii gazoase utilizate în activitatea de scufundare sunt alcătuite din oxigenul necesar susținerii vieții și unul sau două gaze neutre, ca diluanți ai oxigenului. Cele mai utilizate sunt:

- Nitrox (azot-oxigen);
- Heliox (heliu-oxigen);
- Hidrox (hidrogen-oxigen);
- Trimix (oxigen, heliu şi azot).

Amestecul va fi calculat să furnizeze o presiune parţială a oxigenului sigură pentru adâncimea de lucru. Dar trebuie luată în consideraţie şi decompresia. Cantitatea de gaz inert dizolvat în ţesuturile scafandrului şi de asemenea timpul de decompresie depind de presiunea parţială a gazului inert. Aceasta este consecinţa ***Legii lui Henry***.

Într-un amestec nitrox, de exemplu, cu cât este mai mică presiunea parţială a azotului $p_{pN,}$ cu atât decompresia este mai scurtă. Aceasta înseamnă menţinerea presiunii parţiale a oxigenului p_{pO2} cât mai ridicată posibil. Dar dacă p_{pO2} este prea ridicată, scafandrii vor suferi o intoxicaţie cronică sau acută cu oxigen.

În scufundările în saturaţie, când scafandrul poate sta în apă câte 6 ore pe zi, organismul lui nu va putea tolera mai mult de 800 *mb* (0,8 *atm*). De obicei presiunea parţială a oxigenului p_{pO2} este cuprinsă între 500 şi 800 *mb* (0,5 până la 0,8 *atm*).

La o scufundare de scurtă durată, presiunea parţială a oxigenului p_{pO2} poate fi crescută de la 1.2 până la 1.6 bar. Aceasta reduce presiunea parțială a gazului diluant şi scurtează decompresia.

Utilizând relația 2.7 presiunea parțială a azotului dintr-un amestec nitrox este:

$p_{pN} = r_N \cdot p_{ab}$, unde r_N este participația volumică a azotului din amestec.

Timpul de decompresie depinde de p_{pN} și nu de durata efectivă a scufundării. Decompresia se face după tabele de scufundare specifice US Navy, COMEX, etc. Tabelele se fac ținând cont de presiunea parțială a gazului diluant din amestec.

Prepararea amestecurilor respiratorii din două sau trei gaze componente se face cu respectarea ***Legii lui Dalton,*** exprimată de relațiile 2.6 și 2.7.

$p_{pi} = p_f \cdot r_i$

p_{pi} - presiunea parțială a gazului i

p_f - presiunea finală a amestecului

r_i - participația volumică a gazului i

$p_f = \sum p_i$

$r_i = \frac{c}{100}$

c% - concentrația

p_i - presiunea amestecului i

Se aplică și ***Legea lui Amagat***

$$\sum r_i = 1$$

Problemele de amestecuri de gaze respiratorii se pot rezolva în două moduri:

a. ***Metoda 1***, după indicațiile IMCA (International Marine Contractors Association) în cazul unor amestecuri simple, binare.

De exemplu, când se dau concentrațiile de oxigen ale gazelor componente, concentrația finală și presiunea amestecului final, trebuie să cunoaștem presiunile fiecărui amestec component pentru a obține amestecul final dorit. Se cunosc:

- p_f presiunea finală
- $\boldsymbol{c_{oxf}\%}$ - concentrația finală
- $c_{ox1}\%$ $și$ $c_{ox2}\%$ - concentrațiile componentelor 1 și 2

Trebuie menționat și faptul că întotdeauna se va pompa ușor gazul de concentrație mai mare, pentru a evita riscul de incendiu. Peste amestecul 1 cu $c_{ox1}\% > c_{ox2}\%$, se introduce amestecul 2. Presiunea finală a amestecului 1 se calculează cu formula:

$$\boldsymbol{p_1 = p_f \frac{c_{oxf}\% - c_{ox2}\%}{c_{ox1}\% - c_{ox2}\%}} \quad (6.1)$$

$$\boldsymbol{p_2 = p_f - p_1} \quad (6.2)$$

În mod uzual fabricarea unui amestec se face pompând gaz peste un amestec existent. În acest caz se cunoaște presiunea gazului bogat în oxigen care se adaugă, respectiv p_1 și se calculează presiunea finală a amestecului:

$$\boldsymbol{p_f = p_1 \frac{c_{ox1}\% - c_{ox2}\%}{c_{oxf}\% - c_{ox2}\%}} \tag{6.3}$$

b. ***Metoda 2***: Se aplică cu rigurozitate legile fizice, după algoritmul prezentat de Profesorul universitar dr. ing. Mircea Degeratu [Degeratu M. 2008].

Autorul propune o schemă simplă. Astfel, se reprezintă recipientul în care se doreşte prepararea amestecului cu un dreptunghi (fig. 6.1) şi se presupune că gazele rămân stratificate fără să se amestece. În dreptunghi se poate reprezenta fiecare gaz component, înscriind în fiecare compartiment gazul sau amestecul de gaze considerat. În dreapta dreptunghiului se notează presiunile parţiale finale ale fiecărui gaz sau amestec gazos component din tranşa j, p_{jf} şi presiunea finală a amestecului p_{amf}, exprimate în scară manometrică, iar în stânga se notează participaţiile volumice r_i^j ale gazului pur i din amestecurile injectate prin fiecare tranşă de injecţie (j), precum şi concentraţia finală dorită a acestui gaz r_{if} din amestecul care este propus a fi obţinut în recipient.

r_f	r_i^m	$r_1^m + r_2^m + - - + r_n^m = 1$	p_{mf}	p_{amf}
	r_i^j	$r_1^j + r_2^j + - - - + r_n^j = 1$	p_{jf}	
	r_i^1	$r_1^1 + r_2^1 + - - - + r_n^1 = 1$	p_{1f}	

Figura 6.1
Schema generală de calcul pentru fabricarea amestecurilor gazoase

Pe baza schemei generale din Figura 6.1, pentru n componente și m tranșe, se poate exprima presiunea parţială finală a unui gaz component.

Presiunea parțială din amestecul final al gazului i este:

$$p_{if} = p_{amf} \cdot r_{if} = \sum_{j=1}^{m} p_{jf} \cdot r_i^j \tag{6.4}$$

6.2. Exemple de fabricare a amestecurilor în baza schemei generale de calcul

Fabricarea unui amestec respirator binar din gaze pure

- Întotdeauna procentul cel mai mic din amestec este cel al oxigenului, diferența este gazul diluant.
- Participația volumică a oxigenului va fi luată în calcul pentru fiecare tranșă de injecție.

- Sunt suficiente două injecții: primul este oxigenul și apoi gazul diluant.
- Schema generală de calcul a amestecului (Fig. 6.1) devine cea din Fig. 6.2.

r_{oxf}	r_{ox}^2	Tranșa 2: gaz diluant (d)	p_{df}	p_{amf}
	r_{ox}^1	Tranșa 1: oxigen (ox)	p_{oxf}	

Figura 6.2
Schema de calcul pentru fabricarea amestecurilor gazoase binare din gaze pure

Relația (6.4) devine:

$$p_{oxf} = p_{amf} \cdot r_{oxf} = p_{oxf} \cdot r_{ox}^1 + p_{df} \cdot r_{ox}^2 \quad (6.5)$$

În acest caz, gazele sunt pure, deci nu se injectează oxigen în tranșa 2, $r_{ox}^2 = 0$. În tranșa 1 avem numai oxigen, adică r_{ox}^1=1. Dacă se cere fabricarea unui amestec final cu presiunea p_{amf} și concentrația dată, participația volumică r_{oxf} cunoscute, necunoscutele sunt p_{oxf} și p_{df}. Notăm $p_{oxf} = x \rightarrow p_{df} = p_{amf} - x$.

Scriem ecuația:

$$p_{amf} \cdot r_{oxf} = x \cdot 1 + (p_{amf} - x) \cdot 0 \quad (6.6)$$

Amestecul se fabrică din oxigen pur la presiunea x *bar* determinată, peste care se injectează gaz diluant pur la presiunea $p_{amf} - x$ calculată.

Fabricarea unui amestec respirator supraoxigenat nitrox din oxigen și aer atmosferic

Oxigenul pur prezintă un pericol ridicat de explozie, de aceea se preferă injectarea nitroxului peste oxigen. Schema de calcul al amestecului este:

r_{N2f}	r_{N2}^2	Tranșa 2 aer: $r_{ox}^2 = 0.21$ $r_{N2}^2 = 0.79$	p_{aerf}	p_{amf}
	r_{N2}^1	Tranșa 1: oxigen $r_{ox}^1 = 1; r_{N2}^1 = 0$	p_{oxf}	

Figura 6.3

Schema de calcul pentru fabricarea amestecurilor nitrox din oxigen și aer

Dacă vrem să preparăm un amestec nitrox de concentrație dată și presiune cunoscută, se cunosc:

- r_{oxf} - participația finală a oxigenului
- $r_{N2f} = 1 - r_{oxf}$

- p_{amf}

Ecuația amestecurilor este:

$$p_{amf} \cdot r_{N2f} = p_{oxf} \cdot r_{N2}^{1} + p_{aerf} \cdot r_{N2}^{2} \quad (6.7)$$

Necunoscuta este p_{aerf} =x

$$x \cdot r_{N2f} = (p_{amf} - x) \cdot 0 + x \cdot 0.79 \rightarrow xbar \quad (6.8)$$

În concluzie, peste oxigenul pur la presiunea $p_{amf} - x$ se injectează aer până la presiunea p_{amf} .

Fabricarea amestecurilor heliox din heliu și oxigen

Amestecurile heliox se prepară întotdeauna prin injecția de oxigen peste heliu de puritate cât mai mare, deoarece densitatea heliului este foarte mică în comparație cu cea a oxigenului și altfel nu s-ar amesteca.

r_{oxf}	r_{ox}^{2}	Tranșa 2: Ox	p_{oxf}	p_{amf}
	r_{ox}^{1}	Tranșa 1: He	p_{Hef}	

Figura 6.4
Schema de calcul pentru fabricarea amestecurilor heliox

Se cunosc:

- r_{oxf}
- $r_{ox}^{1} = 0$
- $r_{ox}^{2} = 1$
- p_{amf}

Necunoscuta este $p_{oxf} = x$

$$p_{amf} \cdot r_{oxf} = (p_{amf} - x) \cdot 0 + x \cdot 1 \rightarrow xbar \quad (6.9)$$

Procesul de fabricare decurge astfel: se presurizează recipientul mai întâi cu heliu pur până la presiunea $(p_{amf} - x)$ și se continuă presurizarea cu încă x *bar* cu oxigen pur, până când presiunea amestecului din recipient devine p_{amf} cerută.

Fabricarea amestecurilor heliox din alte amestecuri heliox recuperate și din gaze pure

Heliul este un gaz foarte scump, difuzează ușor și de aceea Amestecul gazos heliox utilizat la o scufundare este mereu recuperat. Considerăm că avem un amestec 1 de concentrație:

- $c_1\% \rightarrow r_{1ox} = \frac{c_1}{100}$, participația volumică a oxigenului pentru amestecul 1;

- $r_{1He} = 1 - r_{1ox}$ participația volumică a heliului;
- p_1 presiunea amestecului 1.

Amestecul 2 are următorii parametrii:

- $c_2\% \rightarrow r_{2ox} = \frac{c_2}{100} > r_{1ox}$;
- $r_{2He} = 1 - r_{2ox}$ participația volumică a heliului;
- $p_2 < p_1$ presiunea amestecului 2.

Trebuie să preparăm un amestec 3:

- $c_3\% \rightarrow r_{3ox} = \frac{c_3}{100}$; $r_{1ox} < r_{2ox} < r_{3ox}$;
- $r_{3He} = 1 - r_{3ox}$ participația volumică a heliului;
- p_3 presiunea amestecului 3.

Schema de calcul este mai complexă, adăugăm la nevoie și gaze pure, oxigen și heliu, dar respectă schema generală din fig. 6.1.

Necunoscuta este presiunea parțială *x* a oxigenului. Ecuația (6.5) se scrie astfel:

$$r_{3ox} \cdot p_3 = r_{1ox} \cdot p_1 + 0 \cdot (p_3 - p_1 - p_2 - x) + r_{2ox} \cdot p_2 + 1 \cdot x \qquad (6.10)$$

Dacă valoarea presiunii parțiale a oxigenului $x < 0$, nu este nevoie de injecție de oxigen. Se reface schema de calcul.

r_{oxf}	r_{ox}		p_{am}	p_{amf}
r_{3ox}	1	Oxigen	x	p_3
	r_{2ox}	Amestec2 r_{2ox}, r_{2He}	p_2	
	0	He	$p_3 - p_1 - p_2 - x$	
	r_{1ox}	Amestec1 r_{1ox}, r_{1He}	p_1	

Figura 6.5
Schema de calcul pentru fabricarea amestecurilor heliox din alte amestecuri heliox

r_{oxf}	r_{ox}		p_{am}	p_{amf}
r_{3ox}	r_{2ox}	Amestec2 r_{2ox}, r_{2He}	x	p_3
	0	He	$p_3 - p_1 - x$	
	r_{1ox}	Amestec1 r_{1ox}, r_{1He}	p_1	

Figura 6.6
Schema de calcul pentru fabricarea amestecurilor heliox din alte amestecuri heliox și heliu pur

$$p_{amf} \cdot r_{oxf} = (p_{amf} - p_1 - x) \cdot 0 + x \cdot r_{2ox} \rightarrow xbar \quad (6.11)$$

Amestecul cerut se va prepara astfel:

- Amestecul 1, cu $r_{1He} < r_{2He}$ și p_1 se presurizează cu heliu pur ($r_{He} = 1$) până la $(p_3 - p_1 - x)bar$;
- Presurizarea se continuă cu amestecul 2, cu r_{2He}, până la presiunea finală p_3.

Corectarea amestecurilor gazoase

În cazul în care avem un amestec heliox recuperat și vrem să creștem concentrația uneia dintre componente, schema de calcul conține amestecul inițial și gazul pe care vrem să îl adăugăm. Deosebirea constă în faptul că:

- Îmbogățirea cu oxigen se face prin injecția acestuia peste amestecul heliox recuperat;
- Concentrația de heliu se mărește prin presurizarea amestecului recuperat peste heliul de puritate maximă, din cauza difuziei acestuia.

De exemplu pentru îmbogățirea unui amestec heliox, de concentrație dată, la p_2, cu heliu pur, schema de calcul este cea din fig. 6.7.

Ecuația este:

$$x \cdot r_{3ox} = (x - p_2) \cdot 0 + p_2 \cdot r_{2ox} \quad (6.12)$$

<table>
<tr><th>r_{oxf}</th><th>r_{ox}</th><th></th><th>p_{am}</th><th>p_{amf}</th></tr>
<tr><td rowspan="2">r_{3ox}</td><td>r_{2ox}</td><td>Heliox
r_{2ox}, r_{2He}</td><td>p_2</td><td rowspan="2">x</td></tr>
<tr><td>0</td><td>He
$r_{1He} = 1$</td><td>$x - p_2$</td></tr>
</table>

Figura 6.7

Schema de calcul pentru fabricarea amestecurilor heliox prin îmbogățirea cu heliu a unui amestec heliox recuperat

Helioxul recuperat este stocat în başa suplă la presiunea p_2. Peste heliul pur din butelie, stocat la presiunea $(x - p_2)$, se va injecta amestecul heliox cu p_2 și se va obține amestecul 3 heliox de concentrație dată, la presiunea x necunoscută.

Aplicarea acestor scheme de calcul se înțelege mai bine prin exemplificările din problemele rezolvate.

6.3. Probleme rezolvate

1. **Enunț**

Se dau două amestecuri respiratorii nitrox de concentrații 8% și 24%.

Întrebare

Ce presiuni trebuie să aibă fiecare din cele două amestecuri componente, dacă avem nevoie de gaz respirator 15% la o presiune de 250 *bar?*

Rezolvare

a. Metoda 1

Se aplică formula 6.2:

$p_1 = p_{amf} \cdot \frac{c_f - c_2}{c_1 - c_2} = 250 \frac{15-8}{24-8} \cong 109bar$

$p_2 = 250 - 109 = 141bar$

Se presurizează amestecul 1(24%) până la $109bar$ *presiune manometrică, apoi peste el se injectează amestecul 2 (8%) până la 250 bar.*

b. Metoda 2

	r_{ox}			p_{amf}
$r_{oxf} = 0.15$	$r_{ox}^2 = 0.08$	Tranșa 2: 8%	$p_{amf}^2 = 250 - x$	250
	$r_{ox}^1 = 0.24$	Tranșa 1: 24%	$p_{amf}^1 = x$	

$p_{amf} \cdot r_{oxf} = x \cdot r_{ox}^1 + (p_{amf} - x) \cdot r_{ox}^2$

$250 \cdot 0.15 = x \cdot 0.24 + (250 - x) \cdot 0.08 \leftrightarrow 17.5 = 0.16x \rightarrow x = 109bar = p_{amf}^1$

$p_{amf}^2 = 250 - 109 = 141bar$

2. Enunț

Se dau două amestecuri respiratorii nitrox de concentrații 10% și 40%.

Întrebare

Ce presiuni trebuie să aibă fiecare din cele două amestecuri componente, dacă avem nevoie de gaz respirator 30% la o presiune de 3000 *psi?*

Rezolvare

$p_{amf} = 3000psi = 3000 \cdot 68.95 \cdot 10^{-3} = 207bar$

a. Metoda 1

Se aplică formula 6.2:

$p_1 = p_{amf} \cdot \frac{c_f - c_2}{c_1 - c_2} = 207 \frac{30-10}{40-10} \cong 138bar$

$p_2 = 207 - 138 = 69bar$

Se presurizează amestecul 1(40%) până la $138bar$ *presiune manometrică, apoi peste el se injectează amestecul 2 (10%) până la 207 bar.*

b. Metoda 2

	r_{ox}			p_{amf}
$r_{oxf} = 0.3$	$r_{ox}^2 = 0.1$	Tranșa 2: 10%	$p_{amf}^2 = 207 - x$	207
	$r_{ox}^1 = 0.4$	Tranșa 1: 40%	$p_{amf}^1 = x$	

$p_{amf} \cdot r_{oxf} = x \cdot r_{ox}^1 + (p_{amf} - x) \cdot r_{ox}^2$

$207 \cdot 0.3 = x \cdot 0.4 + (207 - x) \cdot 0.1 \leftrightarrow 41.4 = 0.3x \rightarrow x = 138bar = p_{amf}^1$

$p_{amf}^2 = 207 - 138 = 69bar$

3. Enunț

Avem $100bar$ amestec 9% și vrem să fabricăm un amestec final de 15%, prin utilizarea unei tranșe de 25%.

Întrebare

La ce presiune se va pompa celălalt amestec de 25% și care va fi presiunea amestecului final?

Rezolvare

a. Metoda 1

$c_1 = 25\% \rightarrow r_1 = 0.25$

$c_2 = 9\% \rightarrow r_2 = 0.09$

$c_f = 15\% \rightarrow r_f = 0.15$

$p_2 = 100bar$

Se aplică formulele 6.2 și 6.3:

$p_1 = p_{amf} \cdot \frac{c_f - c_2}{c_1 - c_2} \leftrightarrow (p_{amf} - 100) = p_{amf} \frac{15-9}{25-9} \leftrightarrow p_{amf} \cdot 0.625 = 100 \rightarrow$

$p_{amf} = 160bar$

$p_1 = p_{amf} - p_2 = 160 - 100 = 60bar$

b. Metoda 2

	r_{ox2}			p_{amf}
$r_{oxf} = 0.15$	$r_{ox}^2 = 0.09$	Tranșa 2: 9%	$p_{amf}^2 = 100$	x
	$r_{ox}^1 = 0.25$	Tranșa 1: 25%	$p_{amf}^1 = x - 100$	

$x \cdot r_{oxf} = (x - p_{amf}^2) \cdot r_{ox}^1 + p_{amf}^2 \cdot r_{ox}^2$

$x \cdot 0.15 = (x - 100) \cdot 0.25 + 100 \cdot 0.09 \leftrightarrow 16 = 0.1x \rightarrow x = \frac{16}{0.1} = 160bar = p_{amf}$

$p_{amf}^1 = 160 - 100 = 60bar$

4. Enunț

Avem 2000*psi* amestec 2% și vrem să fabricăm un amestec final de 10%, prin utilizarea unei tranșe de 15%.

Întrebare

Care va fi presiunea amestecului final și cum se fabrică amestecul?

Rezolvare

a. Metoda 1

$c_1 = 15\% \rightarrow r_1 = 0.15$

$c_2 = 2\% \rightarrow r_2 = 0.02$

$c_f = 10\% \rightarrow r_f = 0.1$

$p_2 = 2000psi = 138bar$

Se aplică formulele 6.2 și 6.3:

$p_1 = p_{amf} \cdot \frac{c_f - c_2}{c_1 - c_2} \leftrightarrow (p_{amf} - 138) = p_{amf} \frac{10-2}{15-2} \leftrightarrow p_{amf} \left(1 - \frac{8}{13}\right) = 138 \rightarrow$

$p_{amf} = \frac{138}{0.38} \cong 359bar$

$p_1 = p_{amf} - p_2 = 359 - 138 = 221bar$

Amestecul solicitat se face astfel: Peste amestecul 2 (2% la 138bar) se injectează amestecul 1 (15% la 221 bar) până la 359bar.

b. Metoda 2

	r_{ox}			p_{amf}
$r_{oxf} = 0.1$	$r_{ox}^2 = 0.02$	Tranșa 2: 2%	$p_{amf}^2 = 138$	x
	$r_{ox}^1 = 0.15$	Tranșa 1: 15%	$p_{amf}^1 = x - 138$	

$x \cdot r_{oxf} = (x - p_{amf}^2) \cdot r_{ox}^1 + p_{amf}^2 \cdot r_{ox}^2$

$x \cdot 0.1 = (x - 138) \cdot 0.15 + 138 \cdot 0.02 \leftrightarrow 18 = 0.05x \rightarrow x = \frac{18}{0.05} = 360bar = p_{amf}$

$p_{amf}^1 = 360 - 138 = 222bar$

Amestecul solicitat se face astfel: Peste amestecul 2 (2% la 138bar) se injectează amestecul 1 (15% la 222 bar) până la 360bar.

5. Enunț

Pentru obținerea unui amestec 8%, se utilizează inițial două amestecuri: 50bar de 2% și 40 *bar* de 4%, peste care se adaugă gaz de 23% la altă presiune.

Întrebare

Care va fi presiunea amestecului final și cum se fabrică amestecul?

Rezolvare

a. Metoda 1

Se fabrică amestecul inițial:

$c_1 = 4\% \rightarrow r_1 = 0.04$

$c_2 = 2\% \rightarrow r_2 = 0.02$

$c_{ami} = x\%$ *concentrația amestecului inițial, obținut după combinarea primelor două gaze*

$p_1 = 40bar$

$p_2 = 50bar$

Se aplică formulele 6.2 și 6.3:

$p_{ami} = p_1 + p_2 = 40 + 50 = 90bar$

$p_1 = p_{ami} \cdot \frac{c_{ami} - c_2}{c_1 - c_2} \leftrightarrow 40 = 90\frac{x-2}{4-2} \leftrightarrow 40 \cdot 2 = 90(x-2) \rightarrow x = \frac{80+180}{90} \cong 3\%$

Se fabrică amestecul final:

$c_1 = 23\% \rightarrow r_1 = 0.23$

$c_2 = c_{ami} = 3\% \rightarrow r_2 = 0.03$

$c_f = 8\% \rightarrow r_f = 0.08$

$p_1 = ybar$

$p_2 = p_{ami} = 90bar$

$p_{amf} = p_1 + p_2 = (y + 90)$

$p_{amf} = p_1 \cdot \frac{c_1 - c_2}{c_f - c_2} \leftrightarrow (y + 90) = y\frac{23-3}{8-3}$

$y = 4y - 90 \leftrightarrow 90 = 3y \rightarrow y = 30bar$

$p_{amf} = p_1 + p_2 = y + 90 = 30 + 90 = 120bar$

Fabricarea amestecului: Peste amestecul de 4% cu presiunea 40 bar, se injectează amestecul de 2% până la presiunea amestecului inițial 90 bar. Amestecul de 23% se aduce la 30bar presiune manometrică și se injectează amestecul inițial peste el, până la $p_{amf} = 120bar$.

b. Metoda 2 - Fabricarea amestecului inițial

	r_{ox}			p_{ami}
$r_{ami} = 0.0x$	$r_{ox}^2 = 0.02$	Tranșa 2: 2%	$p_{ami}^2 = 50$	90
	$r_{ox}^1 = 0.04$	Tranșa 1: 4%	$p_{ami}^1 = 40$	

$p_{ami} \cdot r_{ami} = p_{ami}^1 \cdot r_{ox}^1 + p_{ami}^2 \cdot r_{ox}^2$

$90 \cdot 0.0x = 40 \cdot 0.04 + 50 \cdot 0.02 \leftrightarrow 90 \cdot 0.01 \cdot x = 2.6 \rightarrow x = \frac{2.6}{0.9} \cong 3\%$

Fabricarea amestecului final

	r_{ox}			p_{amf}
$r_{amf} = 0.08$	$r_{ox}^2 = 0.03$	Tranșa 2: 3%	$p_{ami}^2 = 90$	y+90
	$r_{ox}^1 = 0.23$	Tranșa 1: 23%	$p_{amf}^1 = y$	

$p_{amf} \cdot r_{amf} = p_{amf}^1 \cdot r_{ox}^1 + p_{ami}^2 \cdot r_{ox}^2$

$(y + 90) \cdot 0.08 = y \cdot 0.23 + 90 \cdot 0.03$

$0.08y + 7.2 = 0.23y + 2.7 \leftrightarrow 4.5 = 0.15y \rightarrow y = \frac{4.5}{0.15} = 30bar$

$p_{amf} = y + 90 = 30 + 90 = 120bar$

Fabricarea amestecului: Peste amestecul de 4% cu presiunea 40 bar, se injectează amestecul de 2% până la presiunea amestecului inițial 90 bar. Amestecul de 23% se aduce la 30bar presiune manometrică și se injectează amestecul inițial peste el, până la $120bar$.

6. Enunț

Pentru presurizarea unei barocamere la $100msw$ cu presiunea parțială a oxigenului 600mbar se utilizează amestecul 1: 15% și amestecul 2: 3%.

Întrebare

Câți *msw* de amestec 1 și amestec 2 se folosesc și cum se fabrică amestecul?

Rezolvare

a. Metoda 1

Se fabrică amestecul inițial:

$c_1 = 15\% \rightarrow r_1 = 0.15$

$c_2 = 3\% \rightarrow r_2 = 0.03$

$p_f = 100msw = \frac{100+1}{10} = 11bar$

$p_{oxf} = 600mbar = 0.6bar$

$p_{oxf} = p_{amf} \cdot r_{oxf} \rightarrow r_{oxf} = \frac{p_{oxf}}{p_{amf}} = \frac{0.6}{11} \cong 0.055$

Se aplică formulele 6.2 și 6.3:

$p_1 = p_{amf} \cdot \frac{c_f - c_2}{c_1 - c_2} = 10\frac{5.5-3}{15-3} \cong 2.1bar = 21msw$

$p_2 = p_{amf} - p_1 = 100 - 21 = 79msw$

Fabricarea amestecului: Peste 21mswamestec de 15% se injectează amestec de 3%, până la 100msw.

b. Metoda 2

	r_{ox}			p_{amf}
$r_{oxf} = 0.055$	$r_{ox}^2 = 0.03$	Tranșa 2: 3%	p_{amf}^2 =100-x	100
	$r_{ox}^1 = 0.15$	Tranșa 1: 15%	$p_{amf}^1 = x$	

$p_{amf} \cdot r_{oxf} = p_{amf}^1 \cdot r_{ox}^1 + p_{amf}^2 \cdot r_{ox}^2$

$100 \cdot 0.055 = x \cdot 0.15 + (100 - x) \cdot 0.03 \leftrightarrow 5.5 = 0.15x + 3 - 0.03x$

$2.5 = 0.12x \rightarrow x = \frac{2.5}{0.12} \cong= 21msw$

Fabricarea amestecului: Peste 21mswamestec de 15% se injectează amestec de 3%, până la 100msw.

7. Enunț

Aveţi 100 *bar* de amestec de 4%, 60 bar de amestec de 8% şi vreţi să le amestecaţi şi apoi să adăugaţi un amestec de 20% ca să obţineţi un amestec de 10%.

Întrebare

Care va fi presiunea finală a amestecului? (Faceţi amestecul în 2 etape).

Rezolvare

a. Metoda 1

Se fabrică amestecul inițial:

$c_1 = 8\% \rightarrow r_1 = 0.08$

$c_2 = 4\% \rightarrow r_2 = 0.04$

$c_{ami} = x\%$ *concentrația amestecului inițial, obținut după combinarea primelor două gaze*

$p_1 = 60bar$

$p_2 = 100bar$

Se aplică formulele 6.2 și 6.3:

$p_{ami} = p_1 + p_2 = 60 + 100 = 160bar$

$p_1 = p_{ami} \cdot \frac{c_{ami} - c_2}{c_1 - c_2} \leftrightarrow 60 = 160\frac{x-4}{8-4} \leftrightarrow 60 \cdot 4 = 160(x-4) \rightarrow x = \frac{240+640}{160} \cong 5.5\%$

Se fabrică amestecul final:

$c_1 = 20\% \rightarrow r_1 = 0.2$

$c_2 = c_{ami} = 5.5\% \rightarrow r_2 = 0.055$

$c_f = 10\% \rightarrow r_f = 0.1$

$p_1 = ybar$

$p_2 = p_{ami} = 160bar$

$p_{amf} = p_1 + p_2 = (y + 160)$

$p_{amf} = p_1 \cdot \frac{c_1 - c_2}{c_f - c_2} \leftrightarrow (y + 160) = y\frac{20-5.5}{10-5.5} \leftrightarrow y + 160 = y\frac{14.5}{4.5}$

$4.5y + 160 \cdot 4.5 = 14.5y \leftrightarrow 720 = (14.5 - 4.5)y \rightarrow y = \frac{720}{10} = 72bar$

$p_{amf} = p_1 + p_2 = y + 160 = 72 + 160 = 232bar$

b. *Metoda 2*

Fabricarea amestecului inițial

	r_{ox}			p_{ami}
$r_{ami} = 0.0x$	$r_{ox}^2 = 0.04$	Tranșa 2: 4%	$p_{ami}^2 = 100$	160
	$r_{ox}^1 = 0.08$	Tranșa 1: 8%	$p_{ami}^1 = 60$	

$p_{ami} \cdot r_{ami} = p_{ami}^1 \cdot r_{ox}^1 + p_{ami}^2 \cdot r_{ox}^2$

$160 \cdot 0.01 \cdot x = 60 \cdot 0.08 + 100 \cdot 0.04 \leftrightarrow 1.6x = 8.8 \rightarrow x = \frac{8.8}{1.6} = 5.5\%$

Fabricarea amestecului final

	r_{ox}			p_{amf}
$r_{amf} = 0.1$	$r_{ox}^2 = 0.055$	Tranșa 2: 5.5%	$p_{amf}^2 = 160$	y+160
	$r_{ox}^1 = 0.2$	Tranșa 1: 2%	$p_{amf}^1 = y$	

$p_{amf} \cdot r_{amf} = p_{amf}^1 \cdot r_{ox}^1 + p_{ami}^2 \cdot r_{ox}^2$

$(y + 160) \cdot 0.1 = y \cdot 0.2 + 160 \cdot 0.055$

$0.1y + 16 = 0.2y + 8.8 \leftrightarrow 7.2 = 0.1y \rightarrow y = \frac{7.2}{0.1} = 72bar$

$p_{amf} = y + 160 = 72 + 160 = 232bar$

Fabricarea amestecului: Peste amestecul de 8% cu presiunea 60 bar, se injectează amestecul de 4% până la presiunea amestecului inițial 160 bar. Amestecul de 20% se aduce la 72bar presiune manometrică și se injectează amestecul inițial peste el, până la $= 232bar$.

8. Enunț

O barocameră de $30m^3$ este presurizată cu $100msw$ utilizând un amestec heliox 5/95.

Întrebare

1. Ce volum de gaz este necesar?
2. Care va fi presiunea parțială a oxigenului și concentrația lui la acea adâncime?

Rezolvare

$V_{in} = 30m^3$

$p_a = 100msw = 10bar$ - *presiunea adăugată*

$c_2 = 5\% \rightarrow r_2 = 0.05$

Helioxul se adaugă peste aerul din barocameră care este un amestec cu $c_1 = 21\% \rightarrow r_2 = 0.21$

1. $FGV = V_{in} \cdot p = 30 \cdot 10 = 300bar$
2. *Se face un amestec din 21% la* p_1 *=1bar, cu* 5% *la* p_2 *=10bar.*

a. *Metoda 1*

$p_{amf} = p_1 + p_2 = 1 + 10 = 11bar$

Notăm $c_f = x$

$p_1 = p_{amf} \cdot \frac{c_f - c_2}{c_1 - c_2} \leftrightarrow 1 = 11\frac{x-5}{21-5} \leftrightarrow 1 = 11\frac{(x-5)}{16}$

$16 = 11x - 55 \rightarrow x = \frac{16+55}{11} = \frac{71}{11} = 6.5\%$

Presiunea parțială a oxigenului din amestecul final este:

$p_{oxf} = r_f \cdot p_{amf} = 0.065 \cdot 11 = 0.7bar = 700mb$

b. *Metoda 2*

	r_{ox}			p_{amf}
$r_{amf} = x$	$r_{ox}^2 = 0.05$	Tranșa 2: 5%	$p_{amf}^2 = 10$	11
	$r_{ox}^1 = 0.21$	Tranșa 1: 21%	$p_{amf}^1 = 1$	

$p_{amf} \cdot r_{amf} = p_{amf}^1 \cdot r_{ox}^1 + p_{amf}^2 \cdot r_{ox}^2$

$11x = 1 \cdot 0.21 + 10 \cdot 0.05 \leftrightarrow 11x = 0.71 \rightarrow x = \frac{0.71}{11} = 0.065 \rightarrow c_f = 6.5\%$.

Presiunea parțială a oxigenului din amestecul final este:

$p_{oxf} = r_f \cdot p_{amf} = 0.065 \cdot 11 = 0.7bar = 700mb$

9. Enunț

Se dă un amestec heliox 15/85 (15% O_2 şi 85% He) la presiunea de 160 *bar* (sc. man.) şi se doreşte corectarea acestuia în vederea obţinerii unui amestec heliox 10/90 (10% O_2 şi 90% He), prin utilizarea unui surpresor care aspiră până la 20 *bar*.

Întrebări

Care este presiunea finală a amestecului dorit?

Cum se fabrică amestecul?

Rezolvare

Presiunea disponibilă este:

$160 - 20 = 140bar$

Heliul pur are densitatea foarte mică și de aceea se injectează heliox peste heliul pur.

Amestecul 2 are:

$p_2 = 140bar$; $c_2 = 15\% \rightarrow r_2 = 0.15$

Amestecul final:

$p_{amf} = x$; $c_{amf} = 10\% \rightarrow r_2 = 0.1$

Amestecul 1, heliul pur, are:

$p_1 = (x - 140)bar$; $c_1 = 0\% \rightarrow r_1 = 0$

a. Metoda 1

$p_1 = p_{amf} \cdot \frac{c_f - c_2}{c_1 - c_2} \leftrightarrow (x - 140) = x\frac{(10-15)}{(0-15)}$

$(x - 140) = x\frac{(-5)}{(-15)} \leftrightarrow (x - 140) = \frac{x}{3}$

$3x - 3 \cdot 140 = x \leftrightarrow 2x = 420 \rightarrow x = 210bar$

$p_1 = p_{amf} - p_2 = 210 - 140 = 70bar$

Fabricarea amestecului: peste 70bar heliu pur se injectează cu surpresorul amestecul heliox 15/85, stocat la 160 bar, până la atingerea presiunii finale de 210 bar.

b. *Metoda 2*

	r_{ox}			p_{amf}
$r_{amf} = 0.1$	$r_{ox}^2 = 0.15$	Tranșa 2:1 5%	$p_2 = 140$	x
	$r_{ox}^1 = 0$	Tranșa 1: 0%	$p_1 = x - 140$	

$p_{amf} \cdot r_{amf} = p_1 \cdot r_{ox}^1 + p_2 \cdot r_{ox}^2$

$x \cdot 0.1 = (x - 140) \cdot 0 + 140 \cdot 0.15 \leftrightarrow 0.1x = 21 \rightarrow x = \frac{21}{0.1} = 210bar$

$p_1 = p_{amf} - p_2 = 210 - 140 = 70bar$

Fabricarea amestecului: peste 70bar heliu pur se injectează cu surpresorul amestecul heliox 15/85, stocat la 160 bar, până la atingerea presiunii finale de 210 bar.

6.4. Probleme propuse

1. Enunț

Un scafandru respiră un amestec heliox 5/95.

Întrebare

Până la ce adâncime poate el utiliza amestecul, fără să depășească 600*mb* presiunea parțială a oxigenului? *(R=110msw).*

2. Enunț/Întrebare

Care este presiunea parțială a oxigenului dintr-o barocameră presurizată la 200*fsw* (1*fsw* = 0,304801 *msw*) cu amestec 10%? (*R=610mb*).

3. Enunț

Se dau două amestecuri respiratorii heliox de concentrații 2% și 10%.

Întrebare

Ce presiuni trebuie să aibă fiecare din cele două amestecuri componente, dacă avem nevoie de gaz respirator 5% la o presiune de 300 *bar?(R:* $p_1 = 113bar;\ p_2 = 187bar$*).*

4. Enunț

Pentru obținerea unui amestec 10%, se utilizează inițial două amestecuri: 60*bar* de 4% și 30 *bar* de 5%, peste care se adaugă gaz de 20% la altă presiune.

Întrebare

Care va fi presiunea amestecului final și cum se fabrică amestecul? (*R:* $p_{amf} = 142bar;\ 2\ tranșe$)

5. Enunț

Pentru obținerea unui amestec final de 15% la 1000*psi* se utilizează un amestec 5% și un alt amestec de 20%. ($1psi = 68.95 \cdot 10^{-3} bar$)

Întrebare

Care va fi presiunea amestecului mai bogat și cum se fabrică amestecul? (*R: 46bar*)

6. Enunț

Pentru presurizarea unei barocamere cu $70msw$ și presiunea parțială a oxigenului $400mbar$ se utilizează două amesteunui amestecul 1: 8 % și amestecul 2: 2%.

Întrebare

Câți mswde amestec 1 și amestec 2 se folosesc și cum se fabrică amestecul? (*R:50 msw am.1 și 20 msw am.2*).

7. Enunț / Întrebare

Dacă pompați un amestec 15% peste 500 psi de amestec de 4% şi vreţi să-l transformaţi într-un amestec de 6%, care va fi presiunea finală a amestecului? (*R=43bar*)

1 *psi =0.0*6895 *bar*

8. Enunț

Aveţi 250 fsw de amestec de 10%, 60 bar de amestec de 5% şi vreţi să le amestecaţi şi apoi să adăugaţi un amestec de 15% ca să obţineţi un amestec de 12%.

Întrebare

Care va fi presiunea finală a amestecului? (Faceţi amestecul în 2 etape). (*R=336bar*)

9. Enunț

Pentru obținerea a 200 bar amestec 9%, se utilizează un amestec de 20% și altul de 5%.

Întrebare

Care vor fi presiunile amestecurilor componente? (*R:* $p_1 = 53bar; p_2 = 147bar$)

10. Enunț

Se dă un amestec heliox 20/80 la presiunea de 2000 psi (scară manometrică) şi se doreşte corectarea acestuia în vederea obţinerii unui amestec heliox 15/85, prin utilizarea unei başe suple şi a unui compresor.

Întrebare

Cum se obține amestecul dorit? (*R: 46bar He pur peste amestecul heliox 20/80*)

Figura 6.8. Rak-ul de analiză a gazelor din Laboratorul hiperbar al Centrului de Scafandri din Constanța (Arhiva foto a Centrului de Scafandri)

CAPITOLUL 7

COMPRESIA ŞI DECOMPRESIA INCINTELOR PRESURIZATE

7.1. Consideraţii teoretice

Presurizarea camerelor hiperbare se face după un profil al scufundării dinainte stabilit şi conform tabelelor de scufundare omologate, determinate după îndelungi studii şi experimente. Părintele fiziologiei hiperbare, John Scott Haldane a stabilit în 1908 modelul matematic de absorbţie şi de eliminare a gazelor inerte din ţesuturi şi conceptul de tabele de decompresie, publicate de Comandamentul de scufundare profundă al Amiralităţii britanice. [Bachrach A, 1988]

Decompresia se face şi ea după tabele de decompresie care stabilesc exact palierele (opririle) de adâncime şi durata lor, pentru întoarcerea scafandrului la suprafaţă, funcţie de adâncimea şi de durata scufundării. Aceste opriri sunt necesare pentru a permite diferitelor ţesuturi umane să elimine gazele inerte absorbite lent, fără să se producă leziuni.

Expunerea la presiune se face în două perioade:

- compresia până la adâncimea de lucru;
- staţionarea sub apă.

Prin cumularea celor două perioade rezultă timpul de expunere la presiune luat în calcul pentru tabelele de decompresie. În funcţie de acest timp de expunere avem:

- scufundări unitare autonome cu timp scurt de expunere;
- scufundări unitare profunde de sistem cu timp mediu de expunere;
- scufundări în saturaţie cu timp mare de expunere.

Timpul de expunere la presiune afectează diversele ţesuturi componente ale organismului uman. Aceste ţesuturi au perioade de semisaturaţie diferite. Cele cu perioada de semisaturaţie de până la 80 minute, ajung la saturaţie în cazul scufundărilor unitare autonome, cu timp scurt de expunere. Ţesuturile cu perioada de semisaturaţie de până la 120 minute ajung la saturaţie în cazul scufundărilor unitare, cu timp mediu de expunere. Iar ţesuturile cu perioada de semisaturaţie peste 120 minute ajung la saturaţie în cazul scufundărilor cu timp mare de expunere.

În cazul scufundărilor unitare de sistem de la 80 *msw*, până la 180 *msw*, viteza de compresie este de 15 – 20 m/min. După 150 *msw*, atât în cazul scufundărilor unitare cât şi

în cazul celor în saturaţie, se reduce viteza de compresie la 8 – 10 m/min, din cauza fenomenului SNIP (Sindrom Nervos al Înaltelor Presiuni). [Stanciu T., 2013]

7.1.1. Presurizarea

Instalaţia de presurizare cu gaze

Este o instalaţie complexă, cu circuite presurizate, robinete, manometre, analizoare, manodetentoare. Înainte de a intra în cheson, gazele colectate din recipiente trec printr-un tablou de distribuţie. Pentru exemplificare este schiţată o astfel de instalaţie mai jos.

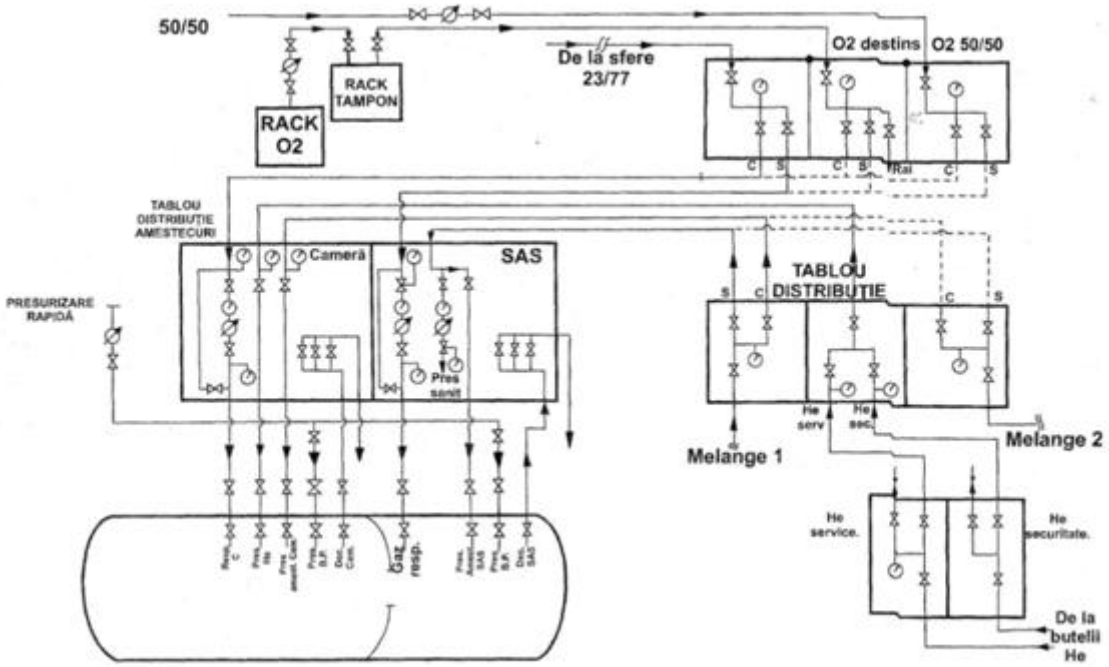

Figura 7.1. Instalaţia de presurizare cu gaze a chesonului - Laboratorul Hiperbar al Centrului de Scafandri (Arhiva foto a Centrului de Scafandri)

Instalaţia de presurizare rapidă este separată de instalaţiile care alimentează barocamera şi simulatorul cu apă. Ea este acţionată de la panoul de control. Acest panou controlează toate instalaţiile, inclusiv comunicaţiile audio şi video.

Instalaţia de recuperare a gazelor

Aceasta se utilizează pentru a recupera gazele din amestecurile respiratorii, de obicei heliul, cel mai des utilizat în amestecurile respiratorii pentru scufundări profunde. Heliul din amestecuri este un gaz cu densitate foarte mică (0,1785 kg/m^3), din această

cauză difuzează uşor şi este greu de recuperat. Principalele elemente ale unei instalaţii de recuperare sunt:

- başa suplă (rezervor elastic) de stocare;
- compresorul de gaze pure;
- buteliile de stocare.

Presurizarea unei barocamere este o procedură relativ simplă. Aerul (21% oxigen, 79%azot) este presurizat până la adâncimea dorită. Atmosfera este sigură şi respirabilă până la 50msw. În timpul decompresiei nu sunt probleme legate de presiuni parţiale, acestea se încadrează în limitele normale la această adâncime.

În cazul scufundării în saturaţie cu heliox, amestecul heliox este pompat prin partea de sus peste aerul existent deja în barocameră. Presiunea parțială finală a oxigenului, p_{O2fin} va depinde de presiunea parțială p_{O2} din aer şi de presiunea parțială p_{O2}din amestecul heliox.

Procedura uzuală este de a începe presurizarea cu un amestec uşor îmbogăţit, 15-20% oxigen, respirabil la adâncimi mici. Compresia continuă apoi cu un amestec sărac, de obicei 2%. Pentru scufundările de mare adâncime se va utiliza un amestec mai sărac, cum ar fi un 1%. Heliul pur nu se utilizează. [IMCA,2004]

Teoretic, presurizarea poate fi începută cu un amestec sărac. Aerul care se află deja în cameră dă o presiune parţială a oxigenului p_{O2} în limitele de siguranţă. În practică există riscul ca o scurgere (o uşă neetanşă, un robinet lăsat deschis) să poată face să se piardă din amestecul sărac şi p_{O2}să scadă la nivele periculos de joase. Asemenea incidente au avut loc şi în consecinţă unii dintre scafandri sau chiar toţi au devenit inconştienţi.

Procedurile unor companii insistă ca presurizarea să înceapă cu amestec normal respirabil. Altele permit utilizarea unui amestec sărac, dar scafandrii trebuie să respire un amestec de siguranţă prin circuitul de respiraţie, la masca din barocameră (BIBS), până li se confirmă că uşa este închisă etanş, nu există pierderi de gaz şi atmosfera este sigură.

În toate presurizările este recomandat să se oprească la 1 *msw* pentru câteva momente. Dacă există o pierdere semnificativă, aceasta va apare imediat pe manometre.

Pentru a atinge valoarea corectă a presiunii parţiale a oxigenului p_{O2} la nivelul de viaţă (de obicei (400-600$mbar$), este necesar să se înceapă cu presiunea corespunzătoare amestecului bogat H_b. Dacă presiunea este greşită, p_{O2} finală va fi greşită şi vor trebui făcute corecţii prin completarea cu oxigen sau prin ventilare.

La barocamere este mai uşor să se lucreze cu presiuni relative măsurate în *msw*.

$$H_b = \frac{p_{O2c-H_f \cdot C_s\%}}{(C_b\% - C_s\%)} \tag{7.1}$$

$H_b(msw)$ - presiunea amestecului bogat

$p_{O2c}(mb)$ – presiunea parțială completată este cantitatea de oxigen care trebuie adăugată pentru a obţine p_{O2} necesară. Înainte de a se începe presurizarea, în barocameră sunt de obicei 210 *mb* oxigen din aer. Pentru a obţine o $p_{O2} = 600mbar$, oxigenul adăugat va fi: 600-210 = 390*mbar*.

$H_f(msw)$ – presiunea de fund (***nu presiunea absolută!)***

$C_s\%$ - concentrația de oxigen a amestecului sărac

$C_b\%$ - concentrația de oxigen a amestecului bogat

În cazul pierderii de oxigen la adâncimi mari, acesta se completează cu un amestec sărac $C_a \leq 2\%$.

$$\Delta p_{O2} = \Delta H \cdot C_a \tag{7.2}$$

$C_a\%$ - concentrația amestecului adăugat

$\Delta p_{O2}(mbar)$ - variația (aici creșterea) presiunii parțiale a oxigenului

$\Delta H(msw)$ – presiunea adăugată

$V_p(m^3)$ - volumul de gaz necesar pentru presurizare este:

$$V_p = \frac{V_b \cdot H_f}{10} \tag{7.3}$$

$V_b(m^3)$ - volumul barocamerei, volum cunoscut sau dacă nu se asimilează cu un cilindru:

$$V_b = \frac{\pi D^2}{4} \cdot L \tag{7.4}$$

$D(m)$ – diametrul barocamerei

$L(m)$ - lungimea barocamerei

Întreruperea presurizării

Dacă o presurizare este întreruptă, scafandrii trebuie aduşi la suprafaţă fără a le cauza boli de decompresie şi fără a fi supuşi la o decompresie completă, ca la saturaţie.

Graficul decompresiei depinde de timpul de fund şi de presiunea parţială a gazului inert în barocameră.

Pentru heliox, cele mai uzuale sunt tabelele US Navy, bazate pe $p_{He}(fsw)$. Dacă nu aveţi la dispoziţie tabelele US Navy, se poate găsi o tabelă corespunzătoare prin încercări şi prin eliminarea erorilor. Se calculează p_{He} din barocameră. Se selectează o scufundare de scurtă durată (înţepătură) şi pentru amestecul utilizat în tabela respectivă, se compară cu p_{He} din barocameră. Dacă p_{He} din tabelă este la fel sau uşor mai mare decât p_{He} din barocameră, tabela se poate folosi. Dacă nu, se selectează o altă tabelă şi procedura se repetă până când este găsită o tabelă corespunzătoare.

Este important să se lucreze rapid. Cu cât scafandrii stau mai mult în barocameră cu atât decompresia va fi mai lungă. Calculele se verifică cu o a doua persoană competentă, pentru a evita greşelile.

7.1.2. Consumul de gaz

Pentru scufundările de durată mare (saturație de exemplu) este necesar să se calculeze consumul zilnic de gaz din barocameră. Pierderile de gaz sunt în general cauzate de uzura sistemului de închidere a SAS-ului medical sau al barocamerei.

$$\text{FGV} = \frac{V_b \cdot H_a}{10} \tag{7.5}$$

FGV(m^3) - volumul de gaz liber

$H_a(msw)$ - presiunea adăugată

Creșterea presiunii parțiale a oxigenului $\Delta p_{O2}(mb)$ este:

$$\Delta p_{O2} = H_a \cdot c\% \tag{7.6}$$

Scafandrii aflaţi în scufundare în saturaţie consumă oxigen în permanenţă. La sistemele moderne, oxigenul pur este adăugat în atmosferă automat pentru a menţine valoarea corectă a presiunii parţiale a oxigenului p_{O2}. Dacă oxigenul trebuie completat manual, echivalența este:

$$10 \text{ (cmsw)} \rightarrow \Delta p_{O2} = 10(mbar) \tag{7.7}$$

Cantitatea de oxigen necesară

În medie, fiecare scafandru dintr-o barocameră utilizează 0,7m^3O_2./zi. Aceasta este cantitatea de oxigen utilizată metabolic de fiecare scafandru. Ea nu este afectată de adâncime.

Pentru siguranță, se presupune că scafandrii participanți la scufundare sunt simultan în barocameră, aceasta fiind situația cea mai defavorabilă.

7.1.3. Decompresia

La decompresie, odată cu eliminarea gazului respirator din barocameră, se pierde și oxigen, deci scade presiunea lui parțială. Din această cauză se completează permanent oxigenul pierdut.

Pe măsură ce adâncimea scade în barocameră, oxigenul reprezintă un procent mai ridicat din volumul total şi volumul de oxigen care se elimină creşte. Volumul de oxigen care trebuie completat creşte în mod corespunzător.

În practică nu se mai face nici o completare cu oxigen după ce concentraţia a atins 23% din cauza riscului de incendiu. Formula de calcul nu ţine cont de acest lucru, astfel rezultatul va fi uşor mai mare.

Oxigenul metabolic consumat în timpul decompresiei trebuie completat odată cu cantitatea de oxigen completată pentru menţinerea valorii p_{O2} la nivelul necesar pentru decompresie.

7.2. Probleme rezolvate

1. Enunț

O cameră este presurizată la $90msw$, utilizând un amestec de 12% şi un amestec de 2%. p_{O2} finală trebuie să fie de 600 *mb*.

Întrebare

Câți msw de 12% trebuie să adăugaţi pentru a începe presurizarea?

Rezolvare

$C_b = 12\%$

$C_s = 2\%$

$p_{O2f} = 600mbar$

$H_f = 90msw$

În barocameră este aer cu $p_{O2} = 210mb$

$p_{O2f} = 210 + p_{O2c} \rightarrow p_{O2c} = 600 - 210 = 390mb$

Se aplică (7.1):

$$H_b = \frac{p_{O2c-H_f \cdot C_s\%}}{(C_b\% - C_s\%)} = \frac{(390-90\cdot 2)}{(12-2)}$$

$$H_b = \frac{210}{10} = 21msw.$$

2. Enunț

O cameră este presurizată la 80 msw, utilizând un amestec de 16% şi un amestec de 2%. Presiunea parțială a oxigenului, finală trebuie să fie de 0.5bar.

Întrebare

Câți msw de 16% trebuie să adăugați pentru a începe presurizarea?

Rezolvare

$C_b = 16\%$

$C_s = 2\%$

$p_{O2f} = 0.5bar = 500mb$

$H_f = 80msw$

În barocameră este aer cu $p_{O2} = 210mb$

$p_{O2f} = 210 + p_{O2c} \rightarrow p_{O2c} = 500 - 210 = 290mb$

Se aplică (7.1):

$$H_b = \frac{p_{O2c-H_f \cdot C_s\%}}{(C_b\% - C_s\%)} = \frac{(290-80\cdot 2)}{(16-2)}$$

$$H_b = \frac{130}{14} = 9.3msw \approx 10msw.$$

3. Enunț

Vreți să presurizați o barocameră la 500 *fsw*, utilizând un amestec de 18% şi un amestec de 1%. Presiunea parțială a oxigenului, finală trebuie să fie de 0.6 *atm*.

Întrebare

Câți fsw de 18% trebuie să adăugați pentru a începe presurizarea?

Rezolvare

$C_b = 18\%$

$C_s = 1\%$

$p_{O2f} = 0.6atm \cong 600mb$

$H_f = 500fsw \cong 153msw$

În barocameră este aer cu $p_{O2} = 210mb$

$p_{O2f} = 210 + p_{O2c} \rightarrow p_{O2c} = 600 - 210 = 390mb$

Se aplică (7.1):

$H_b = \frac{p_{O2c} - H_f \cdot C_s\%}{(C_b\% - C_s\%)} = \frac{(390 - 153 \cdot 1)}{(18 - 1)}$

$H_b = \frac{237}{17} \approx 14msw \approx 46fsw.$

4. Enunț

O cameră este presurizată la 180 msw, utilizând un amestec de 10% şi un amestec de 3%. Presiunea parțială a oxigenului, finală trebuie să fie de 6*00mb*.

Întrebări

Câţi *msw* de amestec 10% trebuie să adăugaţi pentru a începe presurizarea, dacă barocamera este vidată inițial?

Care este volumul de amestec 10% care trebuie completat, dacă barocamera are $V_b = 30m^3$?

Rezolvare

$C_b = 10\%$

$C_s = 3\%$

$p_{O2f} = 500mb$

$H_f = 180msw$

Se aplică (7.1):

$H_b = \frac{p_{O2c} - H_f \cdot C_s\%}{(C_b\% - C_s\%)} = \frac{(600 - 180 \cdot 3)}{(10 - 3)}$

$H_b = \frac{60}{7} = 8.57mH_2O \approx 9msw$

$FGV_b = \frac{V_b \cdot H_b}{10} = \frac{30 \cdot 9}{10} = 27m^3$

5. Enunț

O barocameră are volumul de 40 m^3.

Întrebare

Ce volum de gaz este necesar pentru a presuriza sistemul la 150 msw, la temperatură constantă?

Rezolvare

$V_b = 40m^3$

$H_f = 150msw$

Se aplică formula (7.3)

$V_p = \frac{V_b \cdot H_f}{10} = \frac{40 \cdot 150}{10} = 600m^3$

6. Enunț

O barocameră are volumul de 38 m^3.

Întrebare

Ce volum de gaz este necesar pentru a presuriza sistemul la 212 msw, la temperatură constantă?

Rezolvare

$V_g = V_b \cdot \frac{H_f}{10} = 38\frac{212}{10} = 805.6m^3$

7. Enunț

O barocameră are volumul de 45 m^3. Trebuie să presurizăm la 197 msw cu 7 msw de amestec 16% și 190 msw de amestec 1.5%.

Întrebări

Ce volum din fiecare gaz va fi necesar?

Care este presiunea parțială a oxigenului din amestecul presurizat?

Rezolvare

$V_b = 45m^3$

$H_f = 197msw$

$H_b = 7msw$

$C_b = 16\%$

$C_s = 1.5\%$

$H_s = 190msw$

$V_g = V_b \cdot \frac{H_f}{10}$

Pentru gazul bogat: $V_{gb} = V_b \cdot \frac{H_b}{10} = 45\frac{7}{10} = 31.5m^3$

Pentru gazul sărac: $V_{gs} = V_b \cdot \frac{H_s}{10} = 45\frac{190}{10} = 855m^3$

Formula (7.1): $H_b = \frac{p_{O2c} - H_f \cdot C_s\%}{(C_b\% - C_s\%)}$

Se notează presiunea parțială de oxigen completat:

$p_{O2c} = x \rightarrow 7 = \frac{(x - 197 \cdot 1.5)}{(16 - 1.5)} \leftrightarrow 7 \cdot 14.5 = x - 295.5 \rightarrow x = 397mb$

În barocameră era deja aer cu $p_{O2} = 210mb$

Presiunea parțială a oxigenului din amestecul presurizat este:

$p_{O2f} = 210 + p_{O2c} = 210 + 397 = 607mb$

8. Enunț

Un SAS medical are lungimea de 0.8 *m* şi diametrul de 0.3 *m*. Camera este la 160 msw.

Întrebare

Cât gaz se utilizează când folosim SAS-ul?

Rezolvare

$L = 0.8m$; *D=0.3m*

SAS-ul este un cilindru, volumul lui:

$V_s = \frac{\pi D^2}{4} \cdot L = \frac{\pi \cdot 0.3^2}{4} 0.8 = 0.057m^3$

$H_a = 160\ msw$

Se aplică formula (7.5):

$FGV = \frac{V_s \cdot H_a}{10} = \frac{0.057 \cdot 160}{10} = 0.912m^3 = 912l$

9. Enunț / Întrebare

Cât gaz se adaugă la o scufundare în saturație cu heliox 5/95, dacă necesarul la nivelul de viață este de 600*mb* iar la cel de lucru de 800*mb*.

Rezolvare

Presiunea diferențială care trebuie adăugată este:

$\Delta p_{O2} = 800 - 600 = 200mb$

Se aplică formula (7.6):

$\Delta p_{O2} = H_a \cdot c \leftrightarrow 200 = H_a \cdot 5 \rightarrow H_a = 200:5 = 40msw$

10. Enunț

O scufundare în saturație la $100msw$ nivel de viață este planificată să dureze 1 săptămână și se face cu 4 oameni.

Întrebare

Ce volum de oxigen vor consuma scafandrii?

Rezolvare

Consumul metabolic de oxigen nu depinde de adâncimea de scufundare, el este de $0{,}7m^3O_2$*/zi/om.*

$V_{O2} = 0.7 \cdot 7 \cdot 4 = 19.6 \approx 20m^3$

11. Enunț

La efectuarea unei scufundări în barocameră la 395 *fsw,* analizorul de oxigen indică o concentrație de 3.8%. Presiunea parțială de oxigen recomandată la această scufundare trebuie să fie de 600 mb.

Întrebare

Este concentrația de oxigen corectă?

Dacă nu, cum se va completa necesarul?

Rezolvare

H=395 fsw$\approx 120msw$

Presiunea absolută la $120msw$*este:*

$p_{ab} = \frac{H}{10} + 1 = \frac{120}{10} + 1 = 13bar$

Cunoscând concentrația de oxigen, rezultă participația volumică:

$c\% = 3.8 \rightarrow r_{O2} = \frac{C\%}{100} = 0.038$

Presiunea parțială a oxigenului este:

$p_{O2} = r_{O2} \cdot p_{ab} = 0.038 \cdot 13 = 0.494bar = 494mb$

Necesarul de oxigen pentru completare este: $600 - 494 = 106mb$

Pentru creșterea p_{O2} *cu 110* mb *se injectează 110* $cmsw$ *oxigen pur.*

7.3. Probleme propuse

1. Enunț

O barocameră este presurizată, peste aerul atmosferic existent, la 159.5*psi* presiune absolută (1*bar*=14.5*psi*), utilizând un amestec de 15% şi un amestec de 3%. Presiunea parțială a oxigenului, finală trebuie să fie de 600*mb*.

Întrebare

Câţi msw de amestec 15% trebuie să adăugaţi pentru a începe presurizarea? (*R:7.5* msw)

2. Enunț

Vreţi să presurizaţi o barocameră la 70msw, peste aerul atmosferic existent, utilizând un amestec de 10% şi un amestec de 2%. Presiunea parțială a oxigenului, finală trebuie să fie de 0.5 *atm*.

Întrebare

Câţi msw amestec de 10% trebuie să adăugaţi pentru a începe presurizarea? (*R:19* msw)

3. Enunț

La o scufundare în saturație nivelul de lucru este de 100 msw. Presiunea parțială a oxigenului în simulator nu trebuie să depășească 800*mb.*

Întrebare

Dacă utilizăm 20mswamestec bogat 20% și restul amestec sărac 2% se poate face scufundarea în condiții de securitate?

Se ține cont că în simulator era deja aer atmosferic. (*R: Da* $p_{O2f} = 770mbar <$ $800mb$).

4. Enunț

Sas-ul de transfer al unei barocamere are diametrul de 30*cm* și lungimea de 50 *cm*. El este utilizat în timpul unei saturații cu nivel de viață 120 msw.

Întrebare

Ce volum de gaz este necesar pentru a presuriza Sas-ul? (*R:135litri*)

5. Enunț

O barocameră de 36m^3 se presurizează la 200*fsw* cu 10 *fsw* de amestec respirator 15% și cu 190 *fsw* de amestec respirator 2%.

Întrebări

- Ce volum din fiecare gaz va fi utilizat? (*R: FGV_b=36m^3 și FGVs=684m^3*)
- Este presiunea parțială a oxigenului din amestecul final sigură pentru scafandri? $(R: p_{O2f} = 170mb < 740mb < 800mb)$.

6. Enunț

Complexul hiperbar din Figura 7.2 este compus din două camere hiperbare uscate de 30m^3 și respectiv 20m^3, din camera hiperbară umedă de 35m^3 și două Sas-uri de câte 0.5m^3.

Întrebare

Ce volum de gaz este necesar pentru a presuriza barocamerele la 300 fsw? (*R:791m^3*)

7. Enunț

În timpul unei scufundări s-au pierdut 50*mb* de oxigen.

Întrebare

Ce măsuri trebuie să se ia pentru a respecta planificarea scufundării, dacă se utilizează un amestec de 10%? (*R: se injectează 5 msw amestec respirator 10%*).

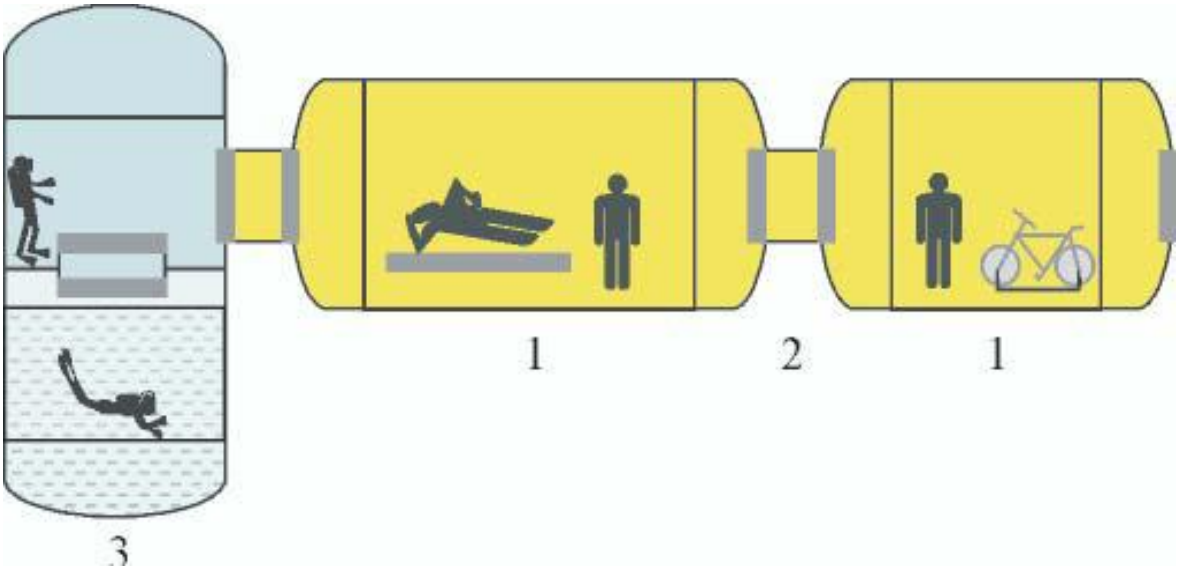

Figura 7.2. Complex hiperbar: 1. cameră hiperbară uscată, 2. sas 3. cameră hiperbară umedă [Majchrzycka A. 2011]

8. Enunț

În timpul unei scufundări este necesar să creștem presiunea parțială a oxigenului cu 100*mb.*

Întrebare

Câți *msw* de gaz 5% trebuie să adăugăm în barocameră? (*R:20 msw*)

9. Enunț / Întrebare

Ce volum de oxigen vor consuma 3 scafandri la o scufundare care durează 4 zile? (*R:9m*^{3})

10. Enunț

La efectuarea unei scufundări în barocameră la adâncimea de 60 m, analizorul de oxigen indică o concentrație de 4%. Presiunea parțială de oxigen recomandată la această scufundare trebuie să fie de 500 mb.

Întrebare

Este presiunea de oxigen indicată suficientă? (R: *280mb*)

Dacă nu, cum se va completa necesarul? (*R: 220 cmsw oxigen adăugat*)

REFERINȚE BIBLIOGRAFICE

[1] Bachrach A., A pictorial history of diving, Best Publishing Co., San Pedro, California, 1988.

[2] Degeratu M., Petru A., Georgescu Şt., Ioniţă S., Tehnologii hiperbare pentru scufundări unitare şi în saturaţie, pag. 15, 58, 78-108, MATRIX ROM, Bucureşti, 2008.

[3] Dinu D., Vlad C., Scafandri şi vehicule subacvatice, pag. 88,161 – 163, Editura Ştiinţifică şi Enciclopedică, Bucureşti 1986.

[4] International Marine Contractors Association, Diving in contaminated waters, IMCA Publications Team, 2004.

[5] Majchrzycka A., Model of Thermal Comfort in the Hyperbaric Facility, Polish Maritime Research 1(68), 2011.

[6] NOAA Diving Manual, pag. 2-10, www.ntis.gov, Department of Commerce US, 2005.

[7] Stanciu T, Diaconu M., Degeratu M., Monitorization and evaluation of HPNS (High Pressure Nervous Syndrome), Annals of the Oradea University, Management and Technological Engineering, University of Oradea Publishing House, 2013.

[8] Stanciu V., Diaconu M., Smarandache M., Chiripuci N., ș.a., Manualul de instrucţie al scafandrului, Tipografia Statului Major al Forţelor Navale, 2010.

[9] Statul Major al Marinei Militare, Norme privind pregătirea, organizarea şi protecţia muncii în activitatea de scufundare, 1996.

[10] US Navy Diving Manual, Causes of Breathing Resistance, pag. 165, Revision 4, Published by Direction of Commender Naval Sea Systems Command, 1999.